



**PENGARUH BEBERAPA FUNGSI TUJUAN  
(*OBJECTIVE FUNCTION*)  
PADA POLA PENGOPERASIAN  
WADUK KEDUNG<sup>2</sup>OMBO**

**TESIS**

**Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Menyelesaikan  
Pendidikan Program Magister Teknik Sipil  
Universitas Diponegoro**

**Oleh :**

**Nama : Asniaty Sulaiman  
NIM : L4A 099 011**

**MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2002**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

T E S I S



**PENGARUH BEBERAPA FUNGSI TUJUAN  
(OBJECTIVE FUNCTION)  
PADA POLA PENGOPERASIAN  
WADUK KEDUNG OMBO**

Disusun oleh :

Nama : Asniaty Sulaiman

NIM : L4A 099 011

Disetujui untuk dipresentasikan di depan Tim Penguji

Pembimbing I

(Ir. Sri Eko Wahyuni, M.S.)

Semarang, Desember 2002

Pembimbing II

(DR. Ir. Suharyanto, M.Sc.)

# LEMBAR PENGESAHAN

## TESIS



### PENGARUH BEBERAPA FUNGSI TUJUAN (OBJECTIVE FUNCTION) PADA POLA PENGOPERASIAN WADUK KEDUNG OMBO

Disusun oleh :

Nama : Asniaty Sulaiman

NIM : L4A 099 011

Dipertahankan di Depan Tim Penguji

Tanggal, 31 Desember 2002

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro

#### TIM Penguji :

Ketua : Ir. Sri Eko Wahyuni, M.S

Sekretaris : DR. Ir. Suharyanto, M.Sc

Anggota I : DR.Ir.Suripin, M.Eng

Angota II : Ir.Hari Nugroho, MT.

Anggota III : Ir. Hary Budienny, MT

*[Handwritten signatures of the examination committee members]*

Semarang, Desember 2002

Magister Teknik Sipil

Ketua



Ir. Suripin, M.Eng

NIP. 31 668 511

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa, atas rahmat dan karunia Nya sehingga penulis telah berhasil menyelesaikan Tesis dengan judul : Pengaruh Beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) pada Pola Pengoperasian Waduk Kedung Ombo.

Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Prof. Ir. Eko Budiharjo, M.Sc. selaku Rektor Universitas Diponegoro
2. DR. Ir. Suripin M.Eng. selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil sekaligus anggota tim penguji yang banyak memberikan kemudahan dan kelancaran untuk terselesainya Tesis ini
3. Ir. Sri Eko Wahyuni, M.S. selaku pembimbing pertama sekaligus sebagai ketua tim penguji yang banyak membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan Tesis ini
4. DR. Ir. Suharyanto, M.Sc. selaku pembimbing kedua sekaligus sebagai tim penguji yang banyak membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan Tesis ini
5. Ir. Hari Nugroho, MT. selaku anggota tim penguji yang banyak memberikan kritik dan masukan dalam penyusunan Tesis ini
6. Ir. Hary Budienny, MT. selaku anggota tim penguji yang banyak memberikan kritik dan masukan dalam penyusunan Tesis ini
7. Semua pihak yang membantu selesainya Tesis ini

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan dan tidak luput dari kesalahan. Jika terdapat kesalahan dan kekhilafan dalam penulisan tesis ini semata-mata adalah karena keterbatasan penulis sebagai hamba Nya, dan segala kebenaran yang ada tentulah semata-mata (tidak lain) adalah berasal dari Allah Subhanahu Wata'ala.

Mudah-mudahan karya kecil ini bermanfaat bagi para pembaca.

Semarang, Desember 2002  
Penulis,

Asniaty Sulaiman

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
NOTASI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
ABSTRAKSI .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Lokasi dan Sistem Distribusi Air Waduk Kedung Ombo .....	2
1.3. Tujuan Studi .....	6
1.4. Lingkup Studi .....	6
<b>BAB II KAJIAN DAN PENYAJIAN DATA</b>	
2.1. Konfigurasi Sistem Sumber Daya Air Waduk Kedung Ombo .....	7
2.2. Layanan dan Pemanfaatan Air Waduk .....	8
2.2.1. Keperluan Irigasi .....	8
2.2.2. Keperluan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) .....	9
2.2.3. Keperluan Air Baku .....	10
2.2.4. Prioritas Operasi Waduk Kedung Ombo .....	10
2.3. Data Tersedia .....	11
2.3.1. Debit Andalan Waduk Kedung Ombo .....	11
2.3.2. Ketersediaan Air Di Hilir Waduk .....	11
2.3.3. Kebutuhan Air dan Pola Tanam Daerah Irigasi .....	16
2.3.4. Evaporasi Waduk .....	17
2.3.5. Volume Tampung Waduk .....	18
2.3.6. <i>Rule Curve</i> Operasi Waduk Kedung Ombo .....	19
2.3.7. Pelepasan ( <i>outflow</i> ) Air Waduk Aktual .....	22
2.3.8. Pelepasan Total Air Waduk Studi Indra Karya (1993) .....	23
2.3.9. Pelepasan Waduk Terdahulu ( Tarigan , 2001) .....	23
2.3.10. Sistem Pengoperasian Waduk Kedung Ombo .....	24
<b>BAB III TINJAUAN PUSTAKA</b>	
3.1. Karakteristik dan Fungsi Suatu Waduk .....	25
3.2. Pengoperasian Waduk .....	26
3.2.1. Pola Pengoperasian Waduk dengan <i>Rule Curve</i> .....	27
3.2.2. Rangkaian ( <i>Time Series</i> ) Debit Waduk .....	28
3.2.3. Skenario Pola Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	34

3.3. Optimasi Operasi Waduk .....	35
3.3.1. Model Program Linear dan Program Tujuan .....	37
3.3.2. Model dan Perumusan Matematik Program Linear .....	39
3.3.3. Model dan Perumusan Matematik Program Tujuan ....	41
3.3.4. Paket Program LINDO .....	44
3.3.5. Analisis Sensitivitas .....	45
3.4. Simulasi Operasi Waduk .....	46
3.4.1. Tujuan Simulasi Operasi Waduk .....	47
3.4.2. Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk .....	48
<b>BAB IV METODOLOGI</b>	
4.1. Deskripsi Permasalahan .....	52
4.2. Pendekatan Masalah .....	52
4.3. Analisis Optimasi .....	57
4.3.1 Rumusan Fungsi Tujuan ( <i>Objective Function</i> ) “MKAI”	58
4.3.2 Rumusan Fungsi Tujuan ( <i>Objective Function</i> ) “MPPW”	61
4.4. Analisis Simulasi .....	67
4.5. Analisis Hasil Optimasi dan Simulasi .....	70
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1. Hasil Analisis Data .....	71
5.1.1. Uji Ketidakadaan Trend Rangkaian Data Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	71
5.1.2. Uji Stasioner Rangkaian Data Debit <i>Inflow</i> Waduk ...	72
5.1.3. Analisis Skenario Pola Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	74
5.1.4. Analisis Kebutuhan Air Irigasi Dari Waduk .....	77
5.2. Hasil Analisis Optimasi .....	78
5.2.1. Analisis Pola Pengoperasian Waduk .....	78
5.2.2. Analisis Daerah Irigasi .....	86
5.3. Hasil Analisis Simulasi Pengoperasian Waduk .....	93
5.4. Pembahasan Hasil Analisis .....	97
5.4.1. Pola Operasi dan <i>Rule Curve</i> Pengoperasian Waduk ..	97
5.4.2. Luasan Daerah Irigasi Sehubungan Hasil Optimasi .....	98
5.4.3. Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk .....	100
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1. Kesimpulan .....	102
6.2. Saran .....	104
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	105
<b>LAMPIRAN</b> .....	108

## NOTASI

$A$	= luas genangan air waduk ( $m^2$ )
$AB_t$	= pelepasan air baku bulan ke- $t$
$A_{ij}$ ( $a_{ij}$ )	= koefisien fungsi kendala berupa besarnya sumberdaya yang diperlukan setiap unit variabel putusan. = koefisien teknologi fungsi kendala tujuan, yaitu yang berhubungan dengan tujuan peubah pengambilan keputusan ( $X_j$ )
$bAI_t$	= target kebutuhan air irigasi golongan I yang harus di penuhi dari waduk bulan ke- $t$
$bBI_t$	= target kebutuhan air irigasi golongan II yang harus di penuhi dari waduk bulan ke- $t$
$B_i, b_i \dots b_m$	= tujuan atau target yang ingin dicapai
$\sum_{t=1}^{n=4} bAI_t$	= total target/kebutuhan air irigasi golongan I selama 4 bulan
$\sum_{t=1}^{n=4} bBI_t$	= total target/kebutuhan air irigasi golongan II selama 4 bulan
$C_j$	= koefisien fungsi tujuan berupa harga marginal dari variabel putusan
$C_k$	= jumlah sumber daya $k$ yang tersedia
$D$	= diameter pipa tekan
$DEF_t$	= variabel kekurangan ( <i>deficit</i> ) pada periode $t$
$DI$	= daerah irigasi
$dt$	= selisih nilai peringkat rangkaian data debit tahunan dengan nilai peringkat tahun data
$D_t$	= kebutuhan air pada bulan ke- $t$
$DTA$	= daerah tangkapan air
$d_i^+, d_i^-$	= volume air di mana target ke- $i$ kebutuhan air terlewatkan, tidak tercapai = jumlah unit deviasi yang kekurangan (-) atau kelebihan (+) terhadap tujuan ( $b_i$ )
$E$	= operator " <i>expectation</i> "
$E_t$	= evaporasi/kehilangan air waduk pada bulan ke- $t$
$F$	= $F_{hitung}$ variabel uji kestabilan varian
$FSL$	= <i>full supply level</i>
$F_{tabel}$	= nilai kritis $F_c$
$g_{kj}$	= koefisien teknologi fungsi kendala biasa (fungsi kendala fungsional yang berhubungan dengan peubah-peubah pengambilan keputusan, $X_j$ )
$GWH$	= giga watt <i>hour</i>
$H$	= elevasi air waduk
$H_o$	= hipotesis nihil
$i$	= 1, 2, ..... , $m$ indeks, untuk jumlah persamaan kendala
$I_t$	= debit <i>inflow</i> waduk pada bulan ke- $t$ (menurut tahun skenario)

$\sum_{i=1}^{n=4} PAI_t$	= penjumlahan pelepasan irigasi golongan I selama 4 bulan
$\sum_{i=1}^{n=4} PBI_t$	= penjumlahan pelepasan irigasi golongan II selama 4 bulan
j	= 1, 2, 3, ..., n indeks, untuk jumlah variabel putusan
$kAI_t^-$	= kekurangan pelepasan air irigasi golongan I bulan ke-t (KAI <sub>t</sub> pada aplikasi Program LINDO)
$kBI_t^-$	= kekurangan pelepasan air irigasi golongan II bulan ke-t (KBI <sub>t</sub> pada aplikasi Program LINDO)
KPS	= koefisien korelasi peringkat dari Spearman
$LE_t$	= kehilangan air waduk pada bulan ke-t
LINDO	= <i>linear interactive discrete optimizer</i>
m	= jumlah persamaan kendala
MFL	= <i>maximum flood level</i>
MKAI	= minimisasi kekurangan air irigasi
MOL	= <i>minimum operation level</i>
MPPW	= minimisasi penyimpangan pelepasan waduk
MW	= megawatt
n	= jumlah variabel putusan / jumlah tahun data debit <i>inflow</i> / jangka waktu pengoperasian simulasi
$n_1$	= jumlah data kelompok I
$n_2$	= jumlah data kelompok II
NRK	= nilai ruas kanan
$PAI_t$	= pelepasan air irigasi golongan I bulan ke-t
$PBI_t$	= pelepasan air irigasi golongan II bulan ke-t
PLTA	= pembangkit listrik tenaga air
PMF	= <i>probable maximum flood</i>
$P_y, P_s$	= faktor prioritas pada urutan pertimbangan ke-y dan ke-s
$Q_{KDO}$	= debit di Kedung Ombo
$Q_{Klambu}$	= debit lateral hulu Bendung Klambu
$Q_S$	= debit di Bendung Sedadi
QSB	= <i>quantitative systems for business analysis</i>
$Q_{Sedadi}$	= debit lateral hulu Bendung Sedadi
R	= jari-jari pipa tekan
$R_1$	= jumlah nilai peringkat data kelompok I
$R_2$	= jumlah nilai peringkat data kelompok II
$RL_{maks.}$	= maksimal pelepasan melalui pipa tekan
$RL_{min.}$	= minimal pelepasan melalui pipa tekan
$RL_t$	= release (total pelepasan) waduk pada bulan ke-t
$R_t$	= pelepasan pada periode t
$R_t$	= nilai peringkat data debit tahunan
S	= Volume tampungan waduk ( pada persamaan karakteristik waduk) = jumlah yang bertanda positif (pada uji tanda dari Cox dan Stuart)
$sAI_t^-$	= penyimpangan (kekurangan) suplesi air golongan I yang diminimumkan (SAI <sub>t,1</sub> pada aplikasi Program LINDO)
$sAI_t^+$	= penyimpangan (kelebihan) suplesi air golongan I yang diminimumkan



	(SAIt,2 pada aplikasi Program LINDO)
$sBI_t^-$	= penyimpangan (kekurangan) suplesi air golongan II yang diminimumkan (SBI <sub>t,1</sub> pada aplikasi Program LINDO)
$sBI_t^+$	= penyimpangan (kelebihan) suplesi air golongan II yang diminimumkan (SBI <sub>t,2</sub> pada aplikasi Program LINDO)
$S_t$	= volume/tampungan waduk pada akhir bulan ke-t
$S_{t+1}$	= volume/tampungan waduk pada awal bulan ke-t+1
$S_0$	= volume tampungan waduk pada awal tahun
$S_1$	= standart deviasi rangkaian data kelompok I
$S_2$	= standart deviasi rangkaian data kelompok II
$S_{12}$	= volume tampungan waduk pada akhir tahun
$SP_t$	= limpasan waduk (yang terjadi) pada bulan ke-t
$t$	= $t_{hitung}$ nilai uji <i>level of confidence</i> atau $t_{hitung}$ kestabilan varian atau $t_{hitung}$ kestabilan nilai rata-rata
$t_{tabel}$	= nilai uji berdasarkan tabel nilai kritis $t_c$
$T_{gagal}$	= lamanya waduk berada dalam keadaan gagal
$T_t$	= nilai peringkat tahun data
$TWL$	= <i>tail water level</i>
$U_1, U_2$	= parameter penentuan nilai "U"
$V_1$	= nilai rata-rata " <i>deficit-ratio</i> "
$V_2$	= nilai maksimum " <i>deficit ratio</i> "
$V_3$	= nilai maksimum " <i>deficit</i> "
$V_{maks.}$	= kecepatan air maksimum melalui pipa tekan
$V_{min.}$	= kecepatan air minimum melalui pipa tekan
$W_{i,y}^+$	= timbangan relatif dari $d_i^+$ dalam urutan ( <i>ranking</i> ) ke-y
$W_{i,s}^-$	= timbangan relatif dari $d_i^-$ dalam ke-s
$W_i^+, W_i^-$	= timbangan atau penalti (ordinal atau kardinal) yang diberikan terhadap suatu unit deviasi yang kekurangan (-) atau kelebihan (+) terhadap tujuan/target
$X_{ij}$	= variabel putusan / peubah pengambilan keputusan atau kegiatan yang dinamakan sebagai sub tujuan
$\bar{X}_1$	= rata-rata hitung rangkaian data kelompok I
$\bar{X}_2$	= rata-rata hitung rangkaian data kelompok II
$Z_{min.}/Z_{maks}$	= fungsi tujuan yang dimaksimumkan atau diminimumkan
$Z_{min.}$	= total kekurangan air irigasi yang diminimumkan
	= besar penyimpangan suplesi air yang diminimumkan
$Z$	= $Z_{hitung}$ nilai uji <i>Man-Whitney</i> atau $Z_{hitung}$ uji tanda <i>Cox</i> dan <i>Stuart</i> (nilai uji berdasarkan perhitungan)
$Z_{tabel}$	= nilai uji berdasarkan tabel nilai kritis $F_c$
$Z_t$	= variabel keandalan waduk untuk menghitung saat-saat waduk mampu memenuhi <i>demand</i> -nya
$\sum_{t=1}^n Z_t$	= jumlah total waktu dimana waduk mampu memenuhi <i>demand</i> -nya
$\sum_{t=1}^n (1 - Z_t)$	= jumlah total waktu dimana waduk gagal
$\alpha$	= unjuk kerja keandalan
$\rho$	= probabilitas (rata-rata frekuensi)
$\gamma$	= unjuk kerja kelentingan

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 : Kebutuhan Air Baku .....	10
Tabel 2-2 : Debit Rata-rata Bulanan Kali Lanang di Bendung Lanang Selama 41 Tahun (1953 – 1993), <i>Catchment Area</i> 109 km <sup>2</sup> .....	12
Tabel 2-3 : Debit Rata-rata Bulanan Kali Lusi di Bendung Dumpil Selama 41 Tahun (1953 – 1998), <i>Catchment Area</i> 893 km <sup>2</sup> .....	12
Tabel 2-4 : Debit Rata-rata Aliran Lateral Bulanan di Bendung Sedadi Selama 41 Tahun (1953 – 1993), <i>Catchment Area</i> 145 km <sup>2</sup> .....	13
Tabel 2-5 : Debit Rata-rata Aliran Lateral Bulanan di Bendung Klambu Selama 41 Tahun (1953 – 1993), <i>Catchment Area</i> 1319 km <sup>2</sup> .....	13
Tabel 2-6 : Pengaruh Luasan Daerah Irigasi dari Debit Rata-rata Bulanan yang Tersedia Di-hilir Waduk .....	15
Tabel 2-7 : Potensi Kebutuhan Air Daerah Irigasi Layanan Waduk Kedung Kedung Ombo .....	17
Tabel 2-8 : Data Evaporasi Waduk Kedung Ombo .....	18
Tabel 2-9 : Hubungan Elevasi, Volume Tampungan dan Luas Genangan Air Waduk Kedung Ombo .....	20
Tabel 2-10 : Data Debit <i>Outflow</i> Aktual Pengoperasian Waduk Kedung Ombo .....	22
Tabel 2-11 : Pelepasan Total (irigasi dan air baku) Pengoperasian Waduk Kedung Ombo Studi Indra Karya (1993) .....	23
Tabel 2-12 : Pelepasan (irigasi dan air baku) Studi Tarigan, (2001) .....	24
Tabel 5-1 : Analisis Koefisien Korelasi Peringkat <i>Spearman</i> .....	71
Tabel 5-2 : Analisis Uji Stasioner Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	73
Tabel 5-3 : Analisis Kelompok Tahun Pola Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	76
Tabel 5-4 : Analisis Debit Bulanan Rata-rata Skenario Debit <i>Inflow</i> Waduk (juta m <sup>3</sup> ) .....	76
Tabel 5-5 : Analisis Kebutuhan Air Daerah Irigasi Setelah Memperhitungkan Ketersediaan Air Di-hilir Waduk .....	77
Tabel 5-6 : Perhitungan Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /ha) Berdasarkan Jenis Tanaman...	78
Tabel 5-7 : Distribusi Kekurangan Air Irigasi Hasil Optimasi “MKAI” .....	79
Tabel 5-8 : Distribusi Penyimpangan Pelepasan Waduk Hasil Optimasi “MPPW” .....	80
Tabel 5-9 : Elevasi dan Pelepasan Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MKAI” .....	80
Tabel 5-10 : Elevasi dan Pelepasan Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MPPW” .....	81
Tabel 5-11 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil Optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Basah) .....	86
Tabel 5-12 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Normal) .....	87

Tabel 5-13 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Cukup) .....	88
Tabel 5-14 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Kering) .....	88
Tabel 5-15 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Basah) .....	89
Tabel 5-16 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Normal) .....	90
Tabel 5-17 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Cukup) .....	90
Tabel 5-18 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk (Hasil optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Kering) .....	91
Tabel 5-19 : Hasil Analisis Simulasi dan Analisis Unjuk Kerja Pengope- rasian Waduk .....	96
Tabel 5-20 : Hasil Optimasi Fungsi Tujuan ( <i>Objective Function</i> ) .....	99
Tabel 5-21 : Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi dan Eksisting	101

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1	: Peta Lokasi Waduk Kedung Ombo dan DPS Kali Serang .....	3
Gambar 1-2	: Skema Distribusi Kebutuhan Air Wilayah Waduk Kedung Ombo .....	5
Gambar 2-1	: Skema Penggunaan Air Waduk Kedung Ombo (Indra Karya, 1993) .....	7
Gambar 2-2	: Grafik Rata-rata Kebutuhan Air Tahunan Sesuai Awal Pola Tanam .....	16
Gambar 2-3	: Pola Tata Tanam Sistem Golongan Wilayah Irigasi di Waduk Kedung Ombo .....	16
Gambar 2-4	: Distribusi Volume Tampungan dan Elevasi Waduk Kedung Ombo .....	18
Gambar 2-5	: Grafik <i>Rule Curve</i> Rencana Pengoperasian Waduk Kedung Ombo .....	20
Gambar 2-6	: Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Kedung Ombo .....	21
Gambar 3-1	: Zona-zona Volume Suatu Waduk .....	26
Gambar 4-1	: Skema Pengelompokan Debit <i>Inflow</i> Untuk Optimasi dan Simulasi .....	53
Gambar 4-2	: Bagan Alir Metodologi .....	55
Gambar 4-3	: Bagan Alir Pendekatan Penyelesaian Masalah .....	56
Gambar 4-4	: Konfigurasi Sistem Pengoperasian waduk "MKAI" .....	58
Gambar 4-5	: Konfigurasi Sistem Pengoperasian Waduk "MPPW" .....	62
Gambar 4-6	: Bagan Alir Proses Optimasi .....	66
Gambar 4-7	: Bagan Alir Proses Simulasi Waduk .....	69
Gambar 5-1	: Hidrograf Rangkaian Data Debit <i>Inflow</i> waduk Rata-Rata Tahunan .....	72
Gambar 5-2	: Hasil Visualisasi Pengelompokan Pola Debit <i>Inflow</i> Waduk ..	75
Gambar 5-3	: Grafik Distribusi Debit Bulanan Skenario Pola Debit <i>Inflow</i> .....	77
Gambar 5-4	: Pola Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi "MKAI" .....	82
Gambar 5-5	: <i>Rule Curve</i> Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi "MKAI" ...	83
Gambar 5-6	: Pola Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi "MPPW" .....	84
Gambar 5-7	: <i>Rule Curve</i> Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi "MPPW" ..	84
Gambar 5-8	: Luasan Daerah Irigasi Berdasarkan Pola Operasi Optimum Hasil Optimasi "MKAI" .....	92
Gambar 5-9	: Luasan Daerah Irigasi Berdasarkan Pola Operasi Optimum Hasil Optimasi "MPPW" .....	92

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A : Data Debit Rata-rata Bulanan ( <i>Inflow</i> ) Waduk Kedung Ombo ( <i>Catchment Area</i> 614 km <sup>2</sup> ) .....	108
LAMPIRAN B : Rumusan Persamaan Matematik Analisis Optimasi ( <i>Input</i> Paket Program LINDO) .....	109
LAMPIRAN C : Tabel Nilai Kritis $t_c$ untuk Distribusi-t Uji Dua Sisi .....	125
LAMPIRAN D : Tabel Nilai Kritis $F_c$ Distribusi F .....	126
LAMPIRAN E : Tabel Analisis Skenario Kelompok Tahun Debit <i>Inflow</i> Waduk .....	127
LAMPIRAN F : Tabel Analisis Debit Bulanan Rata-rata Kelompok Debit <i>Inflow</i> Waduk Kedung Ombo .....	128
LAMPIRAN G : Hasil Analisis Optimasi Aplikasi Paket Program LINDO .....	129
LAMPIRAN H : Simulasi Pengoperasian Waduk .....	132
LAMPIRAN I : Contoh Keluaran ( <i>Output</i> ) Paket Program LINDO .....	196

## ABSTRAK

Waduk Kedung Ombo menampung debit *inflow* dari Kali Serang dengan Daerah Pengaliran Sungai (DPS) seluas 614 km<sup>2</sup> dan difungsikan sebagai waduk serba guna yaitu untuk memenuhi kebutuhan air baku, air irigasi dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Masalah yang sering terjadi bahwa daerah irigasi belum sepenuhnya dapat terpenuhi terutama pada musim kemarau. Hal mana menuntut suatu usaha untuk meminimumkan kekurangan air irigasi dan atau meminimumkan penyimpangan pelepasan waduk yang bisa dihasilkan dari suatu pola operasi waduk yang optimum. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu pola operasi optimum dengan unjuk kerja pengoperasian yang lebih baik dari terdahulu (eksisting) dan evaluasi luasan daerah irigasi sehubungan dengan pola operasi yang diperoleh.

Metode analisis yang digunakan adalah Teknik Optimasi dengan Program Tujuan (*Goal Programming*) sebagai perluasan dari Program Linear (*Linear Programming*). Fungsi Tujuan (*Objective Function*) dilakukan dengan :

- 1). Minimisasi Kekurangan Air Irigasi (MKAI)
- 2). Minimisasi Penyimpangan Pelepasan Waduk (MPPW)

Proses analisis menggunakan paket Program LINDO. Evaluasi unjuk kerja pengoperasian waduk hasil optimasi dan eksisting dilakukan dengan Teknik Simulasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola operasi optimum diperoleh dari Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MPPW" dengan total pelepasan air waduk rata-rata sebesar 651,86 juta m<sup>3</sup>. Hal mana dapat memenuhi 100 % kebutuhan air baku, 52,11 % dari total kebutuhan air irigasi, sehingga rata-rata daerah irigasi yang dapat diairi dari pelepasan waduk adalah 52,40 % dari daerah irigasi yang harus diairi seluas 46.007 ha. Luas daerah irigasi yang dapat diairi menjadi 69,12 % dari luas potensi 70.919 ha. Unjuk kerja pengoperasian waduk terhadap target pelepasan hasil optimasi "MPPW" mencapai 100 % dan terhadap pemenuhan kebutuhan mencapai 40 %, hal mana menunjukkan hasil yang lebih baik dari pada unjuk kerja pengoperasian terdahulu.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pola operasi optimum dari Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MPPW" memberikan unjuk kerja pengoperasian dan rata-rata luasan wilayah daerah irigasi yang dapat diairi lebih besar/luas dari pada Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MKAI". Pola operasi hasil optimasi yang dilakukan memberikan unjuk kerja pengoperasian waduk lebih baik dari pada unjuk kerja pengoperasian waduk pelepasan eksisting, dan unjuk kerja hasil optimasi eksisting (Tarigan, 2001) lebih baik dari unjuk kerja pengoperasian waduk terdahulu yang bukan hasil analisis optimasi (pelepasan Indra Karya, 1993 dan pelepasan *outflow* aktual tahun 1990 – 1998), demikian juga terhadap pemenuhan kebutuhan (*demand*).

Kata Kunci : Optimasi, Simulasi, Fungsi Tujuan (*Objective Function*), LINDO, Pola Operasi.

## ABSTRACT

Kedung Ombo reservoir conserve water inflow from Serang river which has catchment area of 614 km<sup>2</sup> and it is used to meet water irrigation requirement and electrical generation. The problem is that irrigation area have not been able to be served by the available water, especially during summer. So, it is important to minimize the shortage of irrigation water and to minimize the deviation from irrigation water demand, through a reservoir operation optimization. The aim of the research are to get optimum reservoir operation policy which has performance better than the existing and to evaluate the service area of irrigation.

The method of analysis is optimization technique especially goal programming, as an expansion of linear programming. The objective function are done with :

- 1). Minimize the shortage of irrigation water
- 2). Minimize the deviation of irrigation water demand

The analyses uses LINDO package program. The performance evaluation on the operation of reservoir implementing the resulted of optimization reservoir policy are performed using simulation technique.

This research shows that the optimum operation pattern has produced from the objective function "minimize the deviation of irrigation water demand" with total irrigation water discharge approximations are 651,86 millions m<sup>3</sup>. These result is fulfilled 100% of water irrigation requirement from 52,11% totals irrigation needed, so it reached 52,40% irrigation land with areas 46,007 hectars. The irrigation area that can be flowed are 69,12% from potential area 70,919 hectars. The performance of reservoir operation using the optimum releases resulted from the optimization using objective function "minimize the deviation of irrigation water demand" reached 100% and to fullfill the needed has reached 40%, it means they show better result than the existing.

The conclusion is that objective function of the optimum pattern operation through "minimize the deviation of irrigation water demand" gave performance operation better and irrigation area larger than by use of objective function "Minimize the shortage of irrigation water". The optimum pattern of operation gave better performance operation than the existing, and the existing optimal (the discharge of Tarigan, 2001) performan gave better performance than performance operation from unoptimization analyzes (the discharge of Indra karya, 1993 and the outflow discharge between 1990–1998), also the needed demand.

Key Word : Optimization, Simulation, Objective Function, LINDO, Operation Pattern.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dengan berfungsinya Waduk Kedung Ombo yang dibangun antara tahun 1986 - 1990 dan adanya perubahan peningkatan pelayanan untuk berbagai kebutuhan, maka studi ulang terhadap sistem operasi waduk pun telah dilakukan (misal : Indra Karya, 1993 dan Tarigan, 2001). Waduk Kedung Ombo dibangun untuk menampung air dari Kali Serang dan digunakan untuk air irigasi, air bersih, pembangkit tenaga listrik, sehingga berfungsi sebagai waduk serba guna (*multi purpose*). Pola operasi waduk (*rule curve*) yang ditetapkan dan diberlakukan pada Waduk Kedung Ombo prinsip perencanaannya mengandalkan pada prinsip “simulasi” yang hanya terbatas pada evaluasi unjuk kerja (*performance*), sehingga memungkinkan hasil pola pengoperasian dan hasil perencanaan kurang optimal, karena prinsip simulasi bukan merupakan prosedur optimasi yang dapat memberikan hasil analisis yang optimum atau memuaskan.

Untuk mengantisipasi kekurangan air pada pelayanan waduk, maka pola pengoperasian waduk sebaiknya ditentukan berdasarkan Teknik Optimasi dengan Program Tujuan (*Goal Programming*) di mana model analisisnya bertujuan untuk meminimumkan deviasi (kekurangan atau kelebihan) terhadap target atau sasaran yang telah ditetapkan, sedang formulasi model tersebut dalam penyelesaian masalah operasi waduk mempunyai asumsi-asumsi dasar yang berlaku sama dengan Program Linear (*Linear Programming*), yaitu suatu tujuan merupakan fungsi tujuan dari berbagai batasan syarat ikatan (*constraint*) sumber daya yang tersedia.

Analisis dengan model optimasi pada pengoperasian waduk dapat dilakukan dengan menerapkan beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) dan dengan paket Program LINDO, sehingga hasil olahan optimum/memuaskan dan informasi-informasi tambahan yang diperoleh dari penerapan beberapa Fungsi Tujuan sangat penting artinya bagi pengambil keputusan.

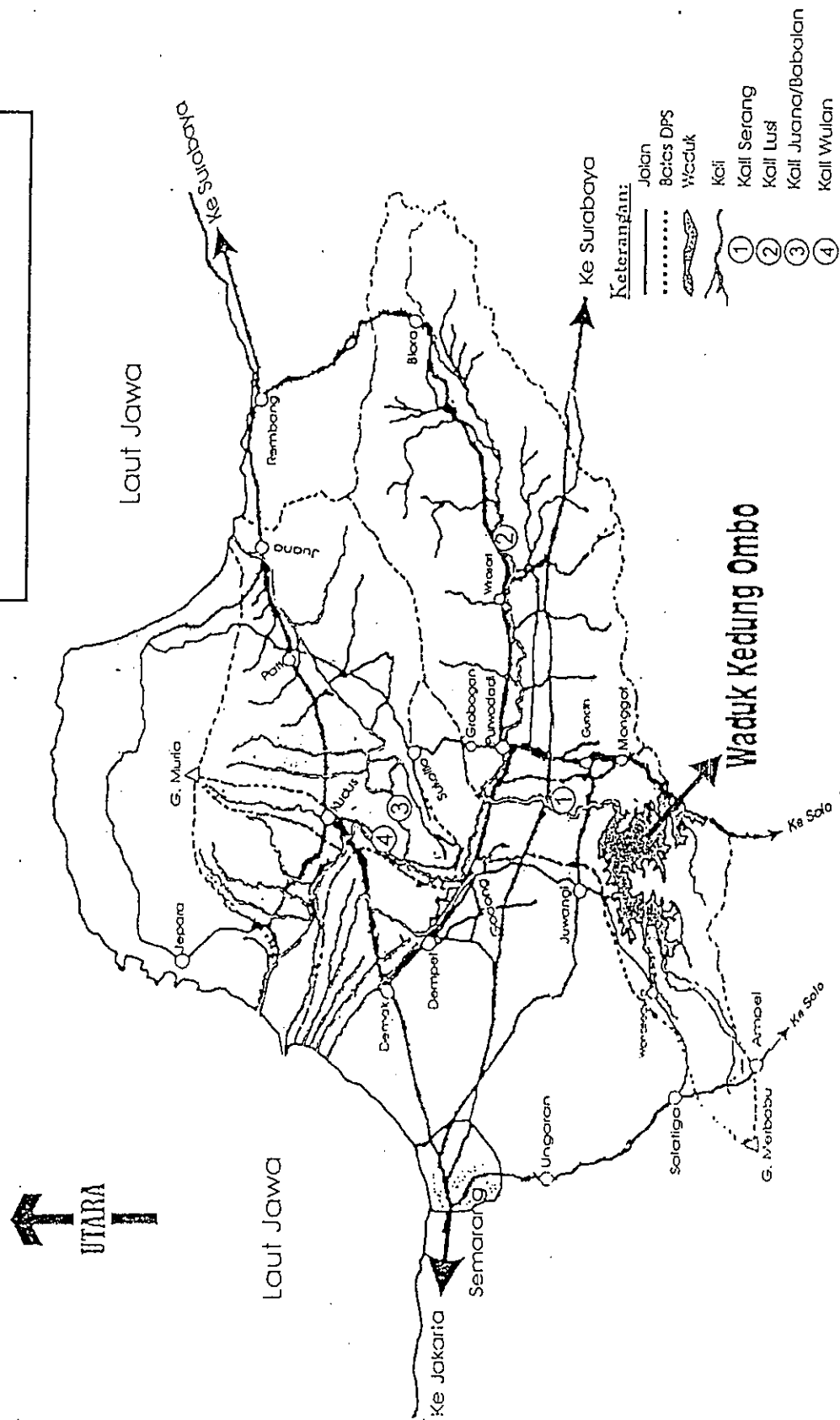
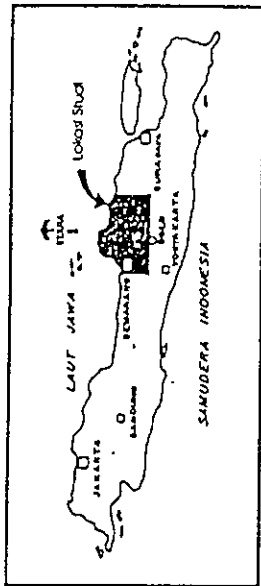


Sebagai ilustrasi, dengan menggunakan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “memaksimalkan pendapatan” dalam pengoperasian Waduk Kedung Ombo maka pola tanam optimal di daerah irigasi akan selalu mengarah pada tanaman palawija karena nilai ekonomi padi tidak lebih baik dari nilai ekonomi tanaman palawija/jagung (Tarigan, 2001). Sementara itu program dan kebijakan pemerintah dalam meningkatkan dan mempertahankan swasembada beras, pola tanam yang diinginkan adalah padi-padi-palawija. Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) dapat menghasilkan perbedaan hasil yang optimal dan pola pengoperasiannya pun juga akan berbeda.

Cakupan dari studi ini merupakan masalah untuk “meminimumkan kekurangan air irigasi”, “meminimumkan penyimpangan pelepasan waduk” pada pengoperasian waduk yang dilakukan dan masalah “memaksimumkan pendapatan waduk” dari hasil penelitian terdahulu (Tarigan, 2001) dengan model optimasi, kemudian menganalisis unjuk kerja pengoperasian pelepasan (target) hasil optimasi terhadap unjuk kerja pengoperasian pelepasan yang ada (eksisting) dengan menggunakan Teknik Simulasi dan analisis luasan daerah irigasi yang dapat diairi dari air yang tertampung di Waduk Kedung Ombo. Oleh karenanya penelitian ini diarahkan pada pengkajian pengaruh dari beberapa fungsi tujuan pada pola pengoperasian waduk dengan judul : “Pengaruh Beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) Pada Pola Pengoperasian Waduk Kedung Ombo”.

## 1.2. Lokasi dan Sistem Distribusi Air Waduk Kedung Ombo

Waduk Kedung Ombo berada di Kabupaten Grobogan Jawa Tengah dengan daerah genangan menyebar di tiga wilayah Administrasi Kabupaten yaitu Kabupaten Grobogan, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Sragen dengan Daerah Pengaliran Sungai (DPS) seluas 614 km<sup>2</sup> yang merupakan DPS Kali Serang (Indra Karya, 1993) sebagaimana terlihat pada Gambar 1-1.

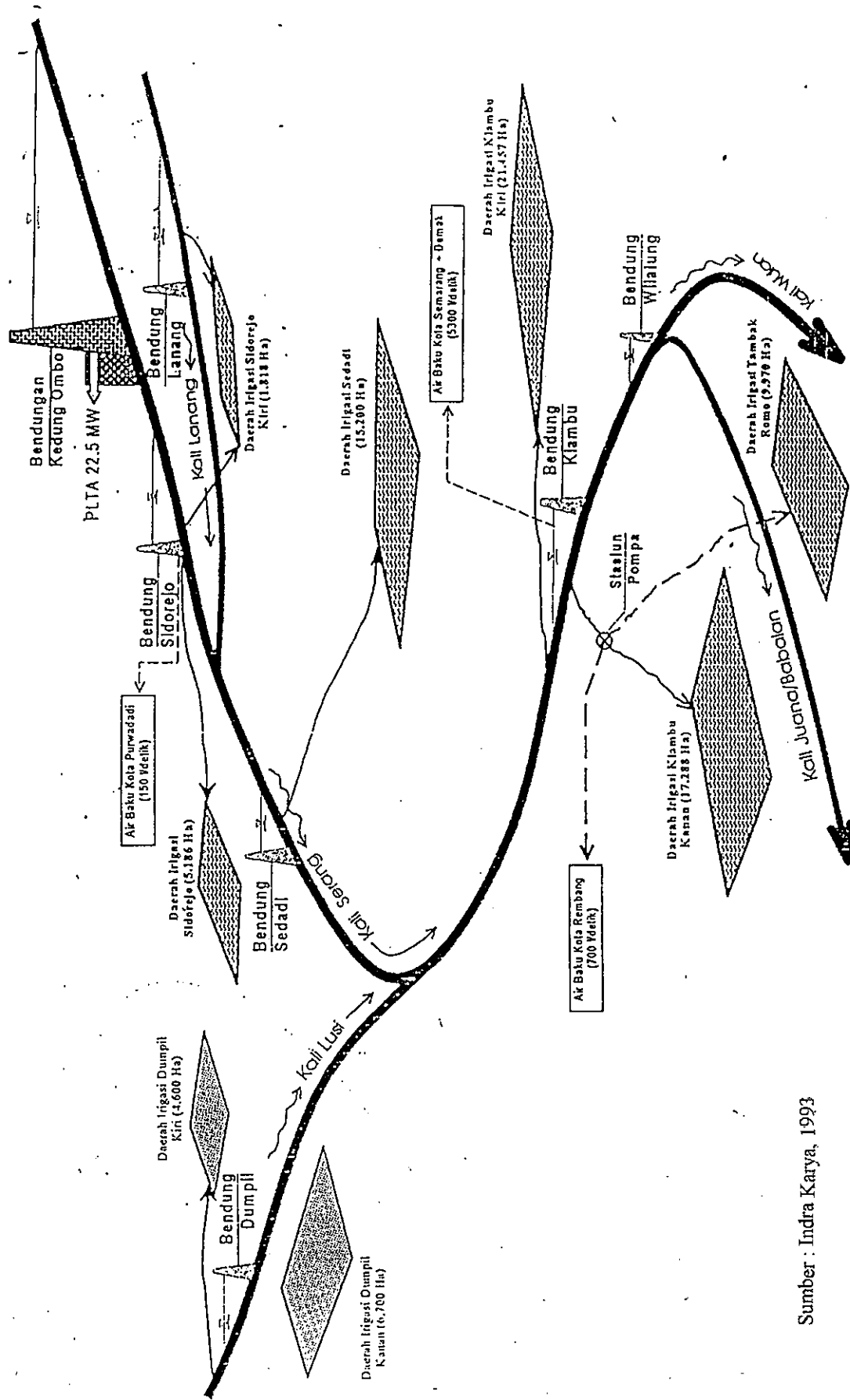


Sumber : Indra Karya, 1993

Gambar 1-1 : Peta Lokasi Waduk Kedung Ombo dan DPS Kali Serang

Kondisi iklim di daerah Waduk Kedung Ombo umumnya relatif panas dan sedikit lembab dengan temperatur relatif sama antara  $26^{\circ}\text{C}$  –  $28^{\circ}\text{C}$  setiap tahun. Curah hujan berkisar antara 2.000 hingga 2.500 mm per tahun dan rata-rata evaporasi tahunan tampungan waduk sekitar 1.790 mm. Di daerah ini mempunyai dua musim, yaitu musim hujan berlangsung dari bulan November hingga Mei dan musim kemarau berlangsung dari bulan Juni hingga Oktober (Indah Karya, 1995).

Berdasarkan distribusi dan kebutuhan air di daerah layanan Waduk Kedung Ombo, selain debit Kali Serang yang tertampung di waduk untuk pemenuhan kebutuhan optimal daerah irigasi di hilir waduk, debit tambahan (*input*) dari Kali Lanang, Kali Lusi dan aliran lateral Daerah Tangkapan Air (DTA) di pintu pengambilan suplesi air Bendung Sidorejo, Bendung Sedadi dan Bendung Klambu sangat diperlukan. Debit lokal Kali Lanang sangat kecil sehingga tambahan debit lokal di Bendung Lanang cukup kecil dan digunakan untuk daerah irigasi Sidorejo Kiri melalui Bendung Lanang. Debit *inflow* Kali Lusi dipergunakan untuk daerah irigasi Dumpil Kiri dan Dumpil Kanan melalui pengaturan dipintu pengambilan Bendung Dumpil, namun kelebihanannya merupakan debit *inflow* ke Bendung Klambu dan dipergunakan untuk suplesi daerah irigasi Klambu Kanan, Klambu Kiri dan Tambak Romo. Aliran lateral (*lateral flow*) yang terjadi di daerah tampungan air Bendung Sidorejo diperhitungkan = 0 (karena terlalu dekat dihilir waduk), Bendung Sedadi dan Bendung Klambu akan mempengaruhi kecukupan kebutuhan sistem daerah irigasi Waduk Kedung Ombo. Skema pendistribusian kebutuhan air di wilayah waduk dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Sumber : Indra Karya, 1993

Gambar 1-2 : Skema Distribusi Kebutuhan Air Wilayah Waduk Kedung Ombo

### 1.3. Tujuan Studi

Tujuan studi pengoperasian Waduk Kedung Ombo dengan model optimasi dan simulasi yang dilakukan adalah :

1. Mendapatkan pedoman pengoperasian waduk optimum dengan melakukan analisis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) Minimisasi Kekurangan Air Irigasi (Evaluasi unjuk kerja dari hasil optimasi yang berbeda tersebut di atas.
2. Evaluasi unjuk kerja pengoperasian data eksisting :
  - Pelepasan waduk hasil studi oleh Indra Karya (1993)
  - Debit *outflow* aktual waduk 9 tahun terakhir (1990 – 1998)
  - Pelepasan waduk hasil optimasi terdahulu (Tarigan, Tesis 2001)
  - Kebutuhan air dari waduk
3. Evaluasi luasan daerah irigasi yang dapat diairi waduk dari hasil optimasi

### 1.4. Lingkup Studi

Kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam studi ini meliputi :

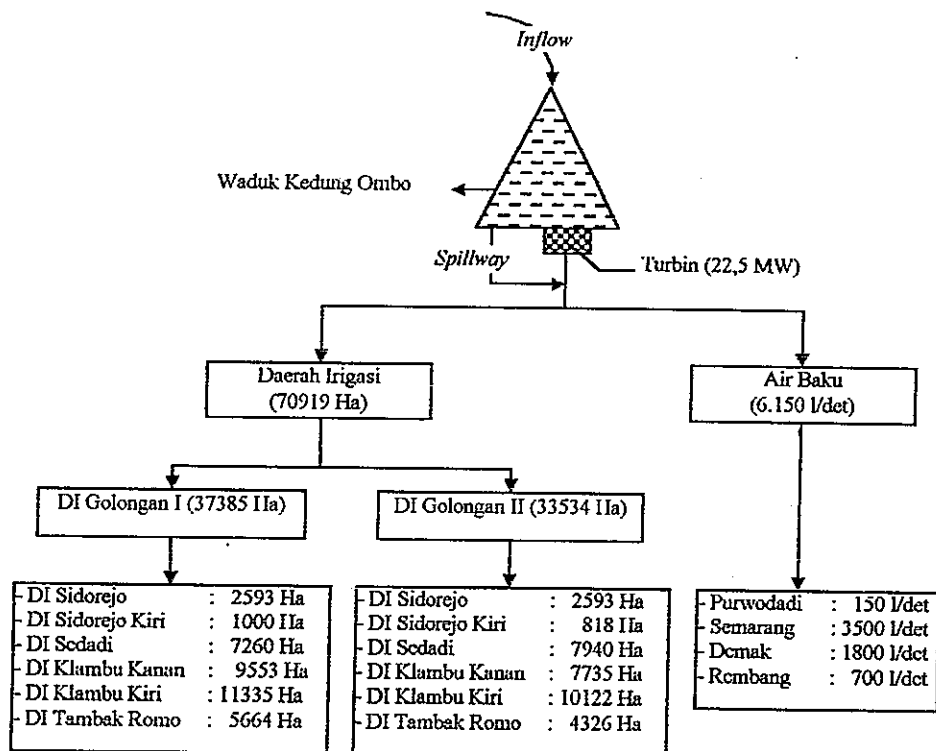
1. Studi Pola Pengopersian Waduk Kedung Ombo yang berlaku (Indra Karya, 1993).
2. Studi ketersediaan data sekunder yang tersedia (Indra Karya, 1993).
3. Pemodelan dan perumusan matematik dengan Fungsi Tujuan “MKAI”
4. Pemodelan dan perumusan matematik dengan Fungsi Tujuan “MPPW”
5. Aplikasi paket Program LINDO.
6. Simulasi pola pengoperasian hasil model optimasi
7. Simulasi pengoperasian pelepasan waduk studi Indra Karya (1993)
8. Simulasi pengoperasian debit *outflow* aktual 9 tahun terakhir (1990 – 1998)
9. Simulasi pengoperasian pelepasan hasil optimasi terdahulu (Tarigan, 2001)
10. Simulasi pola pengoperasian pemenuhan kebutuhan
11. Analisis unjuk kerja hasil optimasi dan eksisting.
12. Analisis luasan daerah irigasi dari pelepasan irigasi hasil optimasi

## BAB II

### KAJIAN DAN PENYAJIAN DATA

#### 2.1. Konfigurasi Sistem Sumber Daya Air Waduk Kedung Ombo

Berdasarkan skema suplesi kebutuhan air dari Waduk Kedung Ombo (Indra Karya, 1993), waduk dimanfaatkan untuk memenuhi keperluan irigasi, PLTA dan air baku sebagaimana Gambar 2-1.



Gambar 2-1 : Skema Penggunaan Air Waduk Kedung Ombo (Indra Karya, 1993)

Debit tersedia di Waduk Kedung Ombo merupakan debit yang berasal dari Kali Serang bagian hulu dengan luas Daerah Tangkapan Air (DTA) 614 km<sup>2</sup>. Untuk kebutuhan air daerah irigasi yang dilayani dengan memperhitungkan pengaruh ketersediaan air Kali Lanang, Kali Lusi dan aliran lateral Daerah Tangkapan Air (DTA) di pintu-pintu pengaturan Bendung Sidorejo, Bendung Sedadi dan Bendung Klambu di hilir waduk, sehingga kebutuhan (kekurangan)

total suplesi dari ketersediaan air di hilir waduk dan luasan daerah irigasi yang sudah diairi dapat merupakan data tersedia pada penelitian ini.

## **2.2. Layanan dan Pemanfaatan Air Waduk**

Layanan dan pemanfaatan yang berdaya guna dan berhasil guna dalam sistem Waduk Kedung Ombo sangat tergantung dari pengoperasian yang optimum. Hal mana sangat ditentukan oleh ketersediaan air di waduk maupun ketersediaan air di hilir waduk serta suplesi pemenuhan kebutuhan yang diharapkan. Pengoperasian air dari waduk diupayakan untuk memenuhi keperluan air baku, irigasi dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

### **2.2.1. Keperluan Irigasi**

Waduk Kedung Ombo direncanakan untuk mampu mengairi lahan irigasi dengan pola tanam padi-padi-palawija setiap tahun, di mana yang dimaksudkan dengan palawija di sini adalah jagung. Untuk memenuhi kebutuhan dan menghindari memuncaknya penggunaan air bagi petani di daerah irigasi, pola tanam dengan sistem golongan (golongan I dengan awal musim tanam pertengahan bulan Oktober dan golongan II awal bulan November).

Dari sejumlah air yang tertampung di waduk dan ketersediaan air di hilir waduk, luas total potensi lahan irigasi wilayah Waduk Kedung Ombo adalah 70.919 ha (Gambar 2-1). Perlu diketahui DI Dumpil Kiri seluas 4600 ha dan DI Dumpil Kanan seluas 6.700 ha dapat dilayani dari *inflow* Kali Lusi, namun kelebihanannya akan merupakan tambahan ketersediaan air di pintu pengambilan Bendung Klambu untuk suplesi daerah irigasi Klambu Kiri, Klambu Kanan dan Tambak Romo. Debit *inflow* Kali Lanang sangat kecil dan dipergunakan untuk suplesi daerah irigasi Sidorejo Kiri. Demikian juga aliran lateral Daerah Tangkapan Air (DTA) juga merupakan tambahan ketersediaan air di pintu pengaturan Bendung Sedadi dan Bendung Klambu, sedangkan aliran lateral Daerah Tampung Air Bendung Sidorejo dianggap nol karena terletak sangat dekat di hilir Waduk Kedung Ombo. Dengan memperhitungkan ketersediaan air di bagian hilir waduk (debit dari Kali Lanang, sisa debit Kali Lusi dan aliran-aliran lateral yang ada), maka debit *inflow* Kali Serang yang tertampung di waduk dioperasikan berdasarkan jumlah kekurangan

irigasi) setelah memperhitungkan ketersediaan air di bagian hilir waduk tersebut. Target/batasan kekurangan air (kebutuhan air yang harus dipenuhi dari air waduk) dapat dirumuskan dengan volume kebutuhan air irigasi dikurangi volume air irigasi yang sudah disuplai dari ketersediaan air di hilir waduk (data ketersediaan air di hilir). Rata-rata kebutuhan air irigasi setiap ha dapat dirumuskan dengan total kebutuhan air irigasi dibagi luas areal irigasi menurut jenis tanaman (pola tanam padi-padi-palawija). Diketahui bahwa kebutuhan air daerah irigasi berbeda setiap tahunnya, sedangkan luas lahan tetap sama, sehingga diperlukan suatu pendekatan untuk mengantisipasi kesalahan skala kebutuhan tersebut.

### 2.2.2. Keperluan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Kapasitas pengaliran turbin stasiun pembangkit tenaga listrik maksimum 61,80 m<sup>3</sup>/detik dan minimum 45 m<sup>3</sup>/detik dimanfaatkan untuk melayani penyediaan air irigasi dan kebutuhan air baku serta kebutuhan industri beberapa kota di Jawa Tengah bagian Utara. Kapasitas terpasang di pembangkit listrik tenaga air Waduk Kedung Ombo sebesar 22,5 MW, produk energi tahunan rata-rata direncanakan mencapai 70 GWH.

Pada dasarnya pengoperasian Waduk Kedung Ombo diutamakan untuk suplesi kebutuhan air baku (air bersih) dan air irigasi, namun suplesi air dari waduk dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pembangkit energi listrik, dengan syarat bahwa suplesi tersebut tidak melebihi kapasitas pengaliran turbin maksimum. Pelepasan air melalui pipa tekan (diameter pipa  $D = 3,8$  m) dengan kecepatan air mengalir berkisar antara 21,50 m/detik s/d 31,00 m/detik dan kemudian bercabang menjadi pelepasan melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi. Berarti kapasitas pelepasan debit air dari waduk adalah :

$$RL_{\min.} = \frac{1}{4} \pi R^2 \cdot V_{\min.}$$

$$= \frac{1}{4} \pi \cdot 1,9^2 \cdot 21,50 = 60,96 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ atau setara dengan } 158,00 \text{ juta m}^3/\text{bulan.}$$

$$RL_{\max.} = \frac{1}{4} \pi R^2 \cdot V_{\max.}$$

$$= \frac{1}{4} \pi \cdot 1,9^2 \cdot 31,00 = 87,89 \text{ m}^3/\text{dt} \text{ atau setara dengan } 227,82 \text{ juta m}^3/\text{bulan.}$$



Di mana :

$RL_{\min.}$  = minimal pelepasan melalui pipa tekan (juta  $m^3$ /bulan)

$RL_{\max.}$  = maksimal pelepasan melalui pipa tekan (juta  $m^3$ /bulan)

$R$  = jari-jari pipa tekan (m)

$V_{\min.}$  = kecepatan air minimum melalui pipa tekan (m/dt)

$V_{\max.}$  = kecepatan air maksimum melalui pipa tekan (m/dt)

### 2.2.3. Keperluan Air Baku

Sistem Waduk Kedung Ombo melayani keperluan air baku beberapa kota di Jawa Tengah bagian Utara. Penyediaan air baku total sebesar 6.150 liter/detik untuk beberapa kota yang dimaksud adalah sebagai berikut :

Tabel 2-1: Kebutuhan Air Baku

Kota	Sumber Pengambilan	Kebutuhan (l/dt)
Purwodadi	Bendung Sidorejo	150
Semarang	Bendung Klambu	3500
Demak	Bendung Klambu	1800
Rembang	Bendung Klambu	700

Sumber : Indra Karya, 1993

Kebutuhan air baku dari Bendung Klambu melalui stasiun pompa. Total kebutuhan air baku sebesar 6.150 liter/detik diasumsikan konstan sepanjang tahun.

### 2.2.4. Prioritas Operasi Waduk Kedung Ombo

Operasi Waduk Kedung Ombo diprioritaskan untuk pelayanan kebutuhan air dengan strata sebagai berikut :

- 1). Penyediaan air baku (air bersih untuk air minum) Kota Purwodadi melalui Bendung Sidorejo, dan untuk kebutuhan air baku Kota Rembang, Demak serta Semarang melalui Bendung Klambu dengan total kebutuhan 6.150 liter/detik (konstan sepanjang tahun).
- 2). Keperluan air irigasi untuk layanan Daerah Irigasi Sidorejo, Sidorejo Kiri, Sedadi, Klambu Kiri, Klambu Kanan dan Tambak Romo dengan total luas  $\pm 70.919$  ha.

Disamping itu suplesi air Waduk Kedung Ombo dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pembangkit energi listrik, karena itu pengaturannya dilakukan secara pelepasan air melalui *outlet* turbin dengan kapasitas maksimal pengaliran turbin dan sisanya melalui pelepasan air melalui *outlet* irigasi.

### 2.3. Data Tersedia

Sebagai analisis berkesinambungan terhadap pengoptimalan pengoperasian Waduk Kedung Ombo, maka data yang digunakan umumnya berupa data sekunder (tersedia) baik dalam bentuk laporan (misalnya Indra Karya, 1993, Indah Karya, 1995, PPKSA Jratunseluna, 2000) yang sudah dipublikasikan ataupun berupa hasil studi/penelitian terdahulu (Tarigan, 2001).

#### 2.3.1. Debit Andalan Waduk Kedung Ombo

Debit tersedia di Waduk Kedung Ombo merupakan debit *inflow* tak tentu (*unregulated inflow*) yang diestimasi dari debit bulanan tersedia (debit tahun 1951 – 1986) di Bendung Sedadi. Hal mana telah dihitung oleh SMEC (1985) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{KDO} = 0,80 Q_S$$

Di mana :  $Q_{KDO}$  = debit di Kedung Ombo ( $m^3/dt$ )

$Q_S$  = debit di Bendung Sedadi ( $m^3/dt$ )

dan dari hasil perpanjangan data debit bulanan tahun 1987 – 1993 serta debit rata-rata bulanan tahun 1994 – 1998 (Indra Karya, 1995 dan PPKSA Jratunseluna, 2000). Data debit *inflow* bulanan Waduk Kedung Ombo ( *Catchment Area* 614  $km^2$ ) tersedia sepanjang tahun 1953 sampai dengan 1998 (Lampiran A).

#### 2.3.2. Ketersediaan Air Di Hilir Waduk

Selain data debit rata-rata bulanan andalan yang tersedia di waduk, debit rata-rata bulanan di Kali Lanang, Kali Lusi, aliran lateral di hilir waduk tentunya akan mempengaruhi kondisi kebutuhan air daerah irigasi yang dilayani.

Debit lokal bulanan Kali Lanang yang tersedia cukup kecil karena daerah tangkapan airnya juga kecil (seluas 109  $km^2$ ) dan dipergunakan untuk suplesi daerah irigasi

Sidorejo Kiri. Dari debit yang tersedia di Bendung Lanang selama 41 tahun (1953 – 1993), debit rata-rata bulanan dapat dihimpun sebagaimana Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Debit Rata-rata Bulanan Kali Lanang di Bendung Lanang Selama 41 Tahun (1953 – 1993), *Catchment Area* 109 km<sup>2</sup>.

Keterangan	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Debit	m <sup>3</sup> /dt	4,71	5,00	4,30	3,02	2,00	0,74	0,62	0,32	0,37	0,72	1,90	3,63
Volume	juta m <sup>3</sup>	12,21	12,95	11,13	7,83	5,18	1,93	1,61	0,83	0,96	1,87	4,93	9,42

Sumber: Indah Karya, 1995

Ketersediaan debit bulanan Kali Lusi sebelumnya digunakan untuk daerah irigasi Dumpil Kiri dan Dumpil Kanan di pintu pengambilan Bendung Dumpil seluas 11.300 ha. Untuk itu perlu diperhitungkan sisa air di Bendung Dumpil dan dimanfaatkan untuk kebutuhan daerah irigasi Klambu Kiri, Klambu Kanan dan Tambak Romo. Dari debit bulanan Kali Lusi yang tersedia di Bendung Dumpil selama 41 tahun (1953 – 1993) dapat dihimpun debit rata-rata bulanan sebagaimana Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Debit Rata-rata Bulanan Kali Lusi di Bendung Dumpil Selama 41 Tahun (1953 – 1998), *Catchment Area* 893 km<sup>2</sup>

Keterangan	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Debit	m <sup>3</sup> /dt	29,90	22,24	26,96	16,74	8,63	3,93	4,77	2,18	2,05	6,45	12,78	23,94
Volume	juta m <sup>3</sup>	77,49	57,65	69,88	43,38	22,37	10,18	12,37	5,66	5,31	16,72	33,13	62,06

Sumber: Indah Karya, 1995

Debit aliran lateral (*lateral flow*) yang diperhitungkan adalah aliran lateral yang terjadi di Bendung Sedadi dan Bendung Klambu. Sedang aliran lateral di Bendung Sedorejo diasumsikan nol karena terletak tepat di hilir Waduk Kedung Ombo ( $\pm 9$  km) dengan luas daerah tangkapan airnya relatif kecil (Indra Karya, 1995).

Debit lateral di Bendung Sedadi (sejauh  $\pm 20$  km di hilir Bendung Sidorejo) diperhitungkan dengan pendekatan luas daerah tangkapan air Bendung Sedadi dan hujan tahunan (koefisien debit) hingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Indra Karya, 1993) :

$$Q_{Sedadi} = 0,18 Q_s$$

Di mana :  $Q_{\text{Sedadi}}$  = debit lateral hulu Bendung Sedadi ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$Q_s$  = debit di Bendung Sedadi sebelum dibangun Waduk Kedung Ombo ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

Debit di Bendung Sedadi yang berasal dari aliran lateral nya (tahun 1953 – 1993) sebagaimana Tabel 2-4 berikut.

Tabel 2-4 : Debit Rata-rata Aliran Lateral Bulanan di Bendung Sedadi Selama 41 Tahun (1953 – 1993), *Catchment Area* 145  $\text{km}^2$

Keterangan	Satuan	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agt.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
Debit	$\text{m}^3/\text{dt}$	5,80	6,31	5,48	3,89	2,88	1,33	1,02	0,56	0,85	1,64	2,94	4,71
Volume	juta $\text{m}^3$	15,05	16,34	14,21	10,08	7,47	3,45	2,64	1,44	2,21	4,24	7,61	12,20

Sumber : Indah Karya, 1995

Debit lateral di Bendung Klambu (terletak sejauh 40 km di hilir Bendung Sedadi) diperhitungkan dengan pendekatan luas daerah tampungan air Bendung Klambu dan hujan tahunan (koefisien debit) hingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Indra Karya, 1993):

$$Q_{\text{Klambu}} = 2,75 Q_s$$

Di mana :  $Q_{\text{Klambu}}$  = debit lateral hulu Bendung Klambu ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$Q_s$  = debit di Bendung Sedadi sebelum dibangun Waduk Kedung Ombo ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

Debit di Bendung Klambu yang berasal dari aliran lateralnya (tahun 1953 – 1993) sebagaimana Tabel 2-5.

Tabel 2-5 : Debit Rata-rata Aliran Lateral Bulanan di Bendung Klambu Selama 41 Tahun (1953 – 1993), *Catchment Area* 1319  $\text{km}^2$ .

Keterangan	Satuan	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agt.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
Debit	$\text{m}^3/\text{dt}$	88,68	96,33	83,73	59,42	44,00	20,32	15,58	8,51	13,02	25,01	44,86	71,93
Volume	Juta $\text{m}^3$	229,86	249,69	217,03	154,03	114,05	52,66	40,39	22,05	33,75	64,83	116,28	186,43

Sumber : Indah Karya, 1995

Dari ketersediaan data debit rata-rata bulanan di Kali Lanang, Kali Lusi dan aliran lateral tersebut di atas telah dilakukan analisis pengaruh luasan daerah

irigasi Sidorejo Kiri dari ketersediaan air di Bendung Lanang, daerah irigasi Sedadi dari ketersediaan air di Bendung Sedadi dan daerah irigasi Klambu Kiri, Klambu Kanan dan Tambak Romo dari ketersediaan air dari Bendung Klambu di hilir waduk.

Analisis dilakukan dengan menerapkan kaidah neraca air (kesetimbangan masa) sebagai dasar perumusan persamaan kendala yang ada, dan hasilnya merupakan data untuk memperhitungkan kebutuhan daerah irigasi yang harus di *supply* dari air tampungan Waduk Kedung Ombo.

Berdasarkan data pengaruh luasan daerah irigasi yang dihasilkane tersebut, dapat diperhitungkan bahwa rata-rata luasan daerah irigasi yang dapat dipenuhi dari ketersediaan air Kali Lanang, kelebihan air Kali Lusi dan aliran lateral di hilir adalah sama dengan penjumlahan total luas daerah irigasi golongan I dan golongan II dibagi banyaknya bulan pelayanan, hal mana diperoleh seluas 24.912 ha. Dengan demikian berarti luasan potensi daerah irigasi yang harus disuplesi dari Waduk Kedung Ombo pada analisis dalam penelitian ini hanya seluas 46.007 ha dari luas potensi 70.919 ha, dengan harapan dapat terpenuhi dari suplesi air waduk secara optimal. Ketersediaan data debit rata-rata bulanan di Kali Lanang, Kali Lusi dan aliran lateral tersebut dapat disajikan sebagaimana Tabel 2-6 berikut.

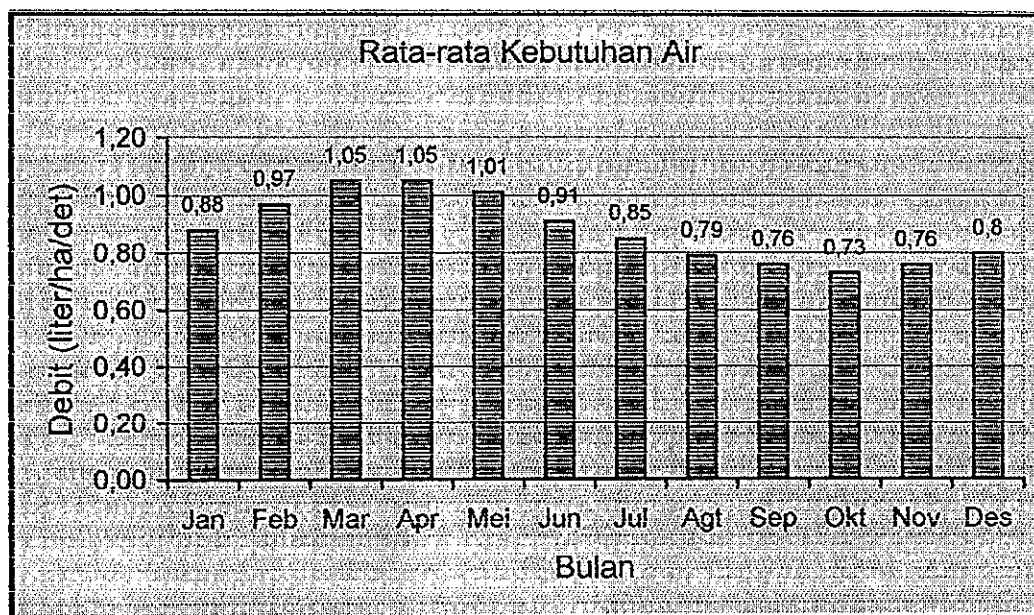
Tabel 2-6 : Pengaruh Luasan Daerah Irigasi Dari Debit Rata-rata Bulanan Yang Tersedia Di-hilir Waduk

Pengaruh luasan daerah irigasi Sidorejo Kiri dari ketersediaan air di Bendung Lanang														
Keterangan	Gol	Satuan	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sep
Suplesi	I	juta m <sup>3</sup>	2	1	1	0	2	2	4	1	0	1	1	0
Luas DI		ha	431	431	431	431	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Suplesi	II	juta m <sup>3</sup>	0	3	2	1	0	2	3	2	0	0	0	0
Luas DI		ha	0	691	691	691	691	818	818	818	818	0	0	0
Pengaruh luasan daerah irigasi Sedadi dari ketersediaan air di Bendung Sedadi														
Suplesi	I	juta m <sup>3</sup>	4	3	2	0	6	7	12	3	1	1	2	1
Luas DI		ha	981	981	981	981	3.298	3.298	3.298	3.298	1.992	1.992	1.992	1.992
Suplesi	II	juta m <sup>3</sup>	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Luas DI		ha	0	854	854	854	854	0	0	0	0	0	0	0
Pengaruh luasan daerah irigasi Klambu Kanan, Kiri, dan Tambak Romo dari ketersediaan air di Bendung Klambu														
Suplesi	I	juta m <sup>3</sup>	27,32	21,44	14,38	0,00	48,25	55,78	93,01	22,47	6,52	7,76	11,10	5,67
Luas DI		ha	6.314	6.314	6.314	6.314	26.532	26.532	26.532	26.532	14.589	14.589	14.589	14.589
Suplesi	II	juta m <sup>3</sup>	0,00	54,35	28,14	7,97	2,78	13,55	18,78	14,78	1,45	0	0	0
Luas DI		ha	0	10.848	10.848	10.848	10.848	5.386	5.386	5.386	5.386	0	0	0
Total luas daerah irigasi pengaruh dari ketersediaan air Kali Lanang, Kali Lusi, dan Aliran Lateral														
Total Luas	I	ha	7.726	7.726	7.726	7.726	30.830	30.830	30.830	30.830	17.581	17.581	17.581	17.581
Total Luas	II	ha	0	12.393	12.393	12.393	12.393	6.204	6.204	6.204	6.204	0	0	0
Total Suplesi	I	juta m <sup>3</sup>	33,43	26,23	17,59	0,00	56,07	64,81	108,08	26,11	7,86	9,35	13,38	6,83
Total Suplesi	II	juta m <sup>3</sup>	0	62,09	32,15	9,11	3,18	15,61	21,63	17,02	1,67	0	0	0

Sumber : Indra Karya, 1993 dan Tarigan, 2001

### 2.3.3. Kebutuhan Air dan Pola Tanam Daerah Irigasi

Kebutuhan air daerah irigasi menggunakan hasil analisis pergeseran pola tanam sistem golongan yaitu golongan I dan golongan II dengan pola tanam padi-padi-palawija (palawija yang dimaksud adalah jagung). Hasil dari pergeseran awal pola tanam menunjukkan bahwa kebutuhan air irigasi yang paling minimum pada bulan Oktober, hal mana dapat dilihat sebagaimana Gambar 2-2 berikut :



Sumber : Tesis Tarigan, 2001

Gambar 2-2 : Grafik Rata-rata Kebutuhan Air Tahunan Sesuai Awal Pola Tanam

Dengan demikian Pola tata tanam daerah irigasi Waduk Kedung Ombo adalah sebagai Gambar 2-3 berikut.

Bulan			Okt.	Nov.	Des.	Jan.	Feb.	Mrt.	Apr.	Mei	Jun.	Jul.	Agt.	Sept.
Luas	Satuan	Gol	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
37385	Ha	I	P.T		Padi I		P	P.T	Padi II		P	Palawija		
33534	Ha	II	P.T		Padi I		P	P.T	Padi II		P	Palawija		

Sumber : Indra Karya, 1993 dan Wiratman & Associates, 2000

Gambar 2-3 : Pola Tata Tanam Sistem Golongan Wilayah Irigasi Di Waduk Kedung Ombo.

Keterangan :

P.T : persemaian dan pengolahan tanah

P : panen

Data potensi kebutuhan air daerah irigasi yang dilayani adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 2-7 berikut:

Tabel 2- 7: Potensi Kebutuhan Air Daerah Irigasi Layanan Waduk kedung Ombo

No.	Bulan	Volume (juta m <sup>3</sup> )		
		Golongan I	Golongan II	Total
1	Oktober	161,76	2,54	164,30
2	November	126,94	168,00	294,94
3	Desember	85,11	86,98	172,09
4	Januari	0,00	24,63	24,63
5	Februari	67,98	8,59	76,57
6	Maret	78,60	84,38	162,98
7	April	131,06	116,91	247,97
8	Mei	31,65	91,99	123,64
9	Juni	16,72	9,05	25,77
10	Juli	19,89	12,74	32,63
11	Agustus	28,45	26,39	54,84
12	September	14,54	21,22	35,76
Total		762,70	653,42	1.416,12

Sumber: Indra Karya, 1993

Potensi kebutuhan air tersebut di atas sebagian dapat terpenuhi dari sejumlah air yang tersedia di hilir waduk (Data Tabel 2-6), hal mana akan mempengaruhi luasan daerah irigasi dan kekurangan air yang dilayani dari Waduk Kedung Ombo.

#### 2.3.4. Evaporasi Waduk

Evaporasi merupakan kehilangan air (*losses*) yang mengurangi volume air yang tertampung di waduk, karena itu evaporasi yang terjadi merupakan fungsi dari luas genangan permukaan air waduk. Selain evaporasi, kehilangan air waduk dapat juga disebabkan oleh kejadian yang disebabkan perkolasi dan rembesan pada tubuh berondongan namun dalam studi ini diabaikan. Data evaporasi yang dipakai berdasarkan ketinggian evaporasi dikalikan luas muka air waduk setiap bulannya, sebagaimana terlihat dalam Tabel 2-8 berikut.



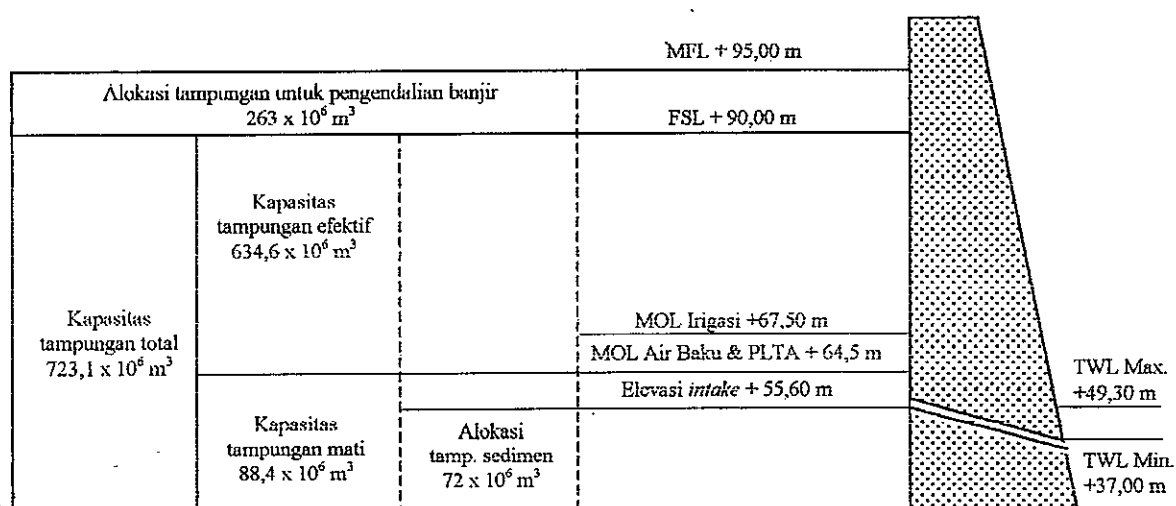
Tabel 2-8: Data Evaporasi Waduk Kedung Ombo

Bulan	Temperatur rata-rata	Kelembaban relatif	Kecepatan angin	Penyinaran matahari	Ketinggian evaporasi	Luas muka air waduk	Volume evaporasi
	°C	%	km/hari	%	mm/hari	km <sup>2</sup>	juta m <sup>3</sup>
Jan	26,30	82,20	140,00	44,00	3,90	26,92	3,13
Feb	26,70	82,50	110,00	50,00	3,80	32,10	3,65
Mar	27,20	82,70	95,00	55,00	4,80	36,34	5,23
Apr	27,80	79,80	75,00	66,00	4,30	38,99	5,05
Mei	27,70	78,20	75,00	68,00	4,00	40,48	4,89
Jun	27,10	74,60	85,00	72,00	4,00	41,25	4,89
Jul	27,00	72,10	115,00	79,00	4,30	39,99	5,13
Agt	27,30	71,80	120,00	84,00	4,90	38,02	5,61
Sep	27,80	71,10	120,00	76,00	5,00	36,89	5,51
Okt	28,10	72,60	100,00	77,00	5,30	31,47	5,02
Nov	27,80	75,70	75,00	65,00	4,70	21,64	3,04
Des	27,30	79,40	85,00	52,00	4,20	20,85	2,61
Rata-rata	27,34	76,89	99,58	65,67	4,43	33,75	4,48

Sumber : PPKSA Jratunsehuna, 2000

### 2.3.5. Volume Tampunguan Waduk

Distribusi tampungan Waduk Kedung Ombo terdiri dari kapasitas tampungan total (*Gross Storage Capacity*), tampungan mati (*dead storage*), kapasitas tampungan efektif, tampungan sedimen dan tampungan untuk pengendalian banjir sebagaimana Gambar 2-4 berikut.



Sumber : Indra Karya, 1993

Gambar 2-4.: Distribusi Volume Tampungan dan Elevasi Waduk Kedung Ombo

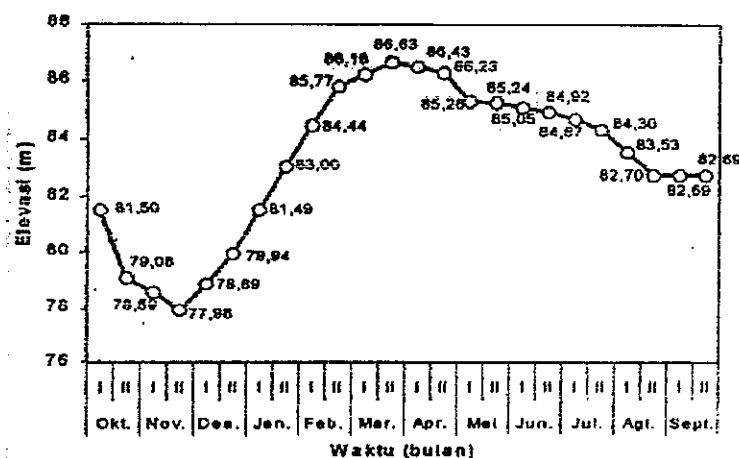
Keterangan :

- Kapasitas tampungan total (*Gross Storage Capacity*) =  $723,1 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Kapasitas tampungan mati (*dead storage*) =  $88,4 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Kapasitas tampungan efektif =  $634,6 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Alokasi tampungan sedimen =  $72 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Alokasi tampungan untuk pengendalian banjir =  $263 \times 10^6 \text{ m}^3$
- *Maximum Flood Level* (MFL), merupakan elevasi muka air waduk yang dicapai pada kondisi debit *inflow Probable Maximum Flood* (PMF) pada elevasi + 95,00 m. Batas muka air waduk untuk penampungan banjir akan terjadi pada elevasi 93,70 m dan batas pelepasan debit pendahuluan melalui pelimpah pada elevasi 90,00 m (Indra Karya, 1993).
- *Full Supply Level* (FSL), merupakan elevasi muka air waduk operasi penuh (pada elevasi + 90,00 m), dan merupakan elevasi yang diharapkan tercapai pada awal sampai dengan pertengahan musim tanam sehingga tidak mengganggu pertumbuhan tanaman pada waktu musim kemarau. Pelepasan air diperkenankan melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi.
- *Minimum Operation Level* (MOL), merupakan batas minimum irigasi (pada elevasi + 67,50 m) untuk pengoperasian katup irigasi. Jika muka air waduk sudah berada di bawah elevasi tersebut maka katup irigasi ditutup dan pelepasan air waduk hanya diperhitungkan untuk pembangkit energi listrik dan air baku, namun kelebihanannya dapat dimanfaatkan untuk suplesi kebutuhan irigasi.
- *Tail Water Level* (TWL), merupakan elevasi muka air di hilir stasiun pembangkit tenaga listrik yang mengalir melalui fasilitas *outlet* (*intake* irigasi dan PLTA). TWL ini berpengaruh terhadap tinggi jatuh efektif dari sistem pembangkit tenaga listrik, sedangkan TWL max dan TWL min merupakan batasan dari TWL tersebut.

### 2.3.6. Rule Curve Operasi Waduk Kedung Ombo

*Rule curve* operasi Waduk Kedung Ombo (*Rule Curve Rencana*) adalah kurva/grafik pengoperasian waduk berdasarkan hasil simulasi operasi waduk yang dapat mencapai nilai elevasi muka air waduk stasioner, di mana elevasi awal operasi

sama dengan elevasi akhir operasi (tetap) dalam satu tahun. *Rule Curve* pengoperasian Waduk Kedung Ombo dimulai pada pertengahan bulan Oktober dengan elevasi pengoperasian + 81,50 m (setara dengan volume waduk 405,46 juta  $m^3$ ). Grafik *Rule Curve* dan tabel hubungan elevasi, volume tampungan dan luas genangan air waduk beserta gambar kurva lengkung kapasitas Waduk Kedung Ombo adalah sebagaimana Gambar 2-5 dan Tabel 2-9 berikut.



Sumber : Indra Karya, 1993 dan PPKSA Jratumseluma, 2000

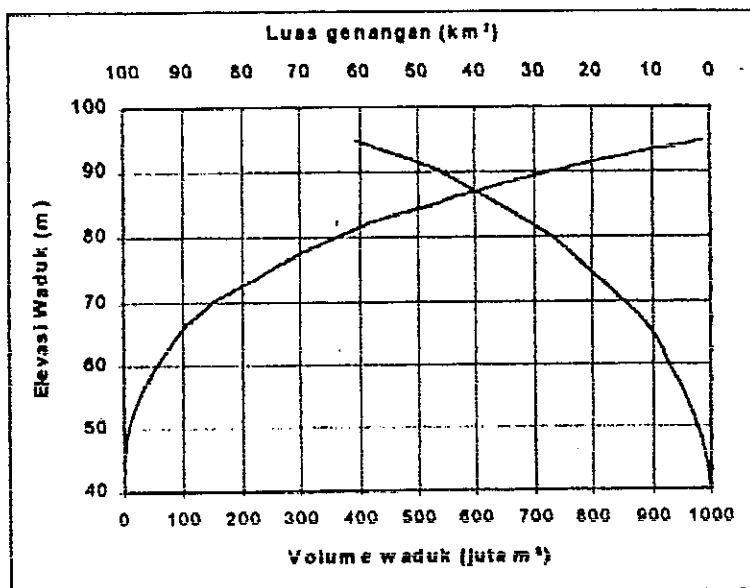
Gambar 2-5 : Grafik *Rule Curve* Rencana Pengoperasian Waduk Kedung Ombo

Tabel 2-9 : Hubungan Elevasi, Volume Tampungan dan Luas Genangan Air Waduk Kedung Ombo

Volume Waduk	Luas Genangan	Elevasi
juta $m^3$	$km^2$	m
0,00	0,00	40
0,98	0,58	44
5,06	1,55	48
13,96	3,09	52
29,64	4,84	56
53,24	7,15	60
83,64	9,35	64
127,28	12,57	68
186,26	17,02	72
264,2	21,85	76
361,68	26,88	80
483,32	34,04	84
635,16	41,97	88
723,16	46,03	90
820,08	50,90	92
986,06	60,40	95

Sumber: Indah Karya, 1995

Kurva lengkung kapasitas dan persamaan lengkung teoritis Waduk Kedung Ombo sehubungan dengan hubungan elevasi, volume tampungan dan luas genangan tersebut, adalah sebagaimana Gambar 2-6 berikut.



Sumber : Indra Karya, 1993 dan Tarigan, 2001

Gambar 2-6 : Kurva Lengkung Kapasitas Waduk Kedung Ombo

Persamaan-persamaan lengkung teoritis Waduk Kedung Ombo yang digunakan adalah (Indra Karya, 1993 dan Tarigan, 2001) :

1). Hubungan Volume tampungan (S) dan Elevasi (H)

- Untuk tampungan (S)  $\leq 127,28$  juta m<sup>3</sup>

$$H(m) = 40 + 0,94 \cdot S - 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot S^2 + 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot S^3 - 5,74 \cdot 10^{-7} \cdot S^4$$

2-1

- Untuk tampungan (S)  $> 127,28$  juta m<sup>3</sup>.

$$H(m) = 59324 + 8,2310^2 \cdot S - 9,38 \cdot 10^{-5} \cdot S^2 + 6,63 \cdot 10^{-8} \cdot S^3 - 1,95 \cdot 10^{-11} \cdot S^4$$

2-2

## 2). Hubungan Volume tampungan (S) dan Luas genangan (A)

- Untuk tampungan (S)  $\leq 127,28$  juta  $m^3$

$$A(km^2) = 0,33 + 0,257 \cdot S - 5,07 \cdot 10^{-3} \cdot S^2 + 5,7 \cdot 10^{-5} \cdot S^3 - 2,135 \cdot 10^{-7} \cdot S^4$$

2-3

- Untuk tampungan (S)  $> 127,28$  juta  $m^3$

$$A(km^2) = 8,738 + 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot S + 9,2 \cdot 10^{-5} \cdot S^2 - 1,36 \cdot 10^{-7} \cdot S^3 + 6,5 \cdot 10^{-11} \cdot S^4$$

2-4

Persamaan lengkung teoritis dan gambar kurva lengkung kapasitas Waduk Kedung Ombo tersebut sangat diperlukan dalam analisis simulasi.

### 2.3.7. Pelepasan (*outflow*) Air Waduk Aktual

Berdasarkan pengoperasian waduk aktual (lapangan) sepanjang 9 tahun terakhir (1990 – 1998) data debit *outflow* aktual pengoperasian waduk adalah sebagaimana Tabel 2-10 berikut.

Tabel 2-10 : Data Debit *Outflow* Aktual Pengoperasian Waduk Kedung Ombo

Tahun	Bulan												Total
	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	
	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	juta $m^3$	
1990	35,24	49,43	45,87	29,94	26,68	15,03	18,66	23,82	33,61	60,34	39,50	25,92	404,04
1991	83,70	85,96	43,82	85,95	51,78	12,96	0,00	48,99	99,36	148,83	53,56	0,00	714,91
1992	100,22	103,68	46,05	30,53	15,98	31,60	45,79	97,59	64,42	128,85	36,29	0,00	701,00
1993	88,89	88,98	35,52	27,76	76,55	129,02	0,00	0,00	0,00	0,00	19,34	2,16	468,22
1994	93,60	121,95	45,24	25,89	10,37	25,66	64,45	98,92	87,69	94,87	24,81	5,70	699,15
1995	93,74	73,22	130,74	13,31	13,31	18,39	44,15	75,34	42,42	31,18	33,81	5,61	575,22
1996	104,66	45,14	21,77	118,92	44,98	67,08	79,26	110,99	68,47	39,22	4,68	72,58	777,75
1997	136,08	98,26	28,12	14,26	13,21	30,00	46,23	64,80	48,38	53,84	4,25	86,79	624,22
1998	155,52	150,34	94,28	7,27	2,85	3,85	6,52	43,13	37,80	98,78	40,84	135,21	776,39
1999	140,84	68,04	54,00	27,89	116,64	180,14	133,70	106,27	46,22	51,84	2,16	101,09	1.028,83

Sumber : PPKSA Jratunseluna, 2000

### 2.3.8. Pelepasan Total Air Waduk Studi Indra Karya (1993)

Pelepasan bulanan hasil studi simulasi pengoperasian Waduk Kedung Ombo yang dilakukan oleh Indra Karya 1993, hal mana dengan memperhitungkan ketersediaan air di hilir waduk (air Kali Lanang, Kali Lusi dan aliran lateral) adalah sebagaimana Tabel 2-11 berikut :

Tabel 2-11 : Pelepasan Total (irigasi dan air baku) Pengoperasian Waduk Kedung Ombo Studi Indra Karya (1993)

Bulan	Debit			
	Basah	Normal	Cukup	Kering
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Okt	146,77	130,81	68,33	36,22
Nov	222,50	197,30	98,66	47,96
Des	138,27	123,34	64,93	34,90
Jan	31,46	29,57	22,16	18,35
Feb	24,67	24,69	30,20	20,19
Mar	57,50	57,61	83,87	36,17
Apr	75,48	75,64	113,25	44,92
Mei	56,48	56,59	82,20	35,67
Jun	32,54	27,20	23,67	24,16
Jul	39,74	32,08	27,03	27,72
Ags	58,34	44,69	35,69	36,93
Sep	45,52	35,99	29,72	30,58
Total	929,27	835,51	679,71	393,77

Sumber : Indra Karya, 1993

### 2.3.9. Pelepasan Waduk Terdahulu (Studi Tarigan, 2001)

Dengan perbedaan hasil optimum dan pola pengoperasian yang berbeda dari waduk yang sama dapat digunakan sebagai pembandingan. Data pelepasan waduk hasil optimasi studi Tarigan (terdahulu) di mana optimasi dilakukan dengan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “memaksimalkan pendapatan waduk” adalah sebagaimana Tabel 2-12 berikut.

Tabel 2-12 : Pelepasan (irigasi dan air baku) Studi Tarigan, (2001)

Bulan	Debit				
	Basah Sekali	Basah	Normal	Kering	Kering Sekali
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Okt.	127,51	40,62	21,04	21,04	21,04
Nov.	207,41	139,22	123,87	123,87	19,26
Des.	128,15	82,42	72,13	72,13	17,96
Jan.	31,47	31,47	31,47	31,47	16,13
Feb.	33,27	33,27	33,27	33,27	25,94
Mar.	98,49	98,49	84,76	46,51	28,27
Apr.	134,20	134,20	115,18	62,18	36,27
Mei	96,46	96,46	81,50	39,79	21,49
Jun.	32,17	32,17	30,70	6,60	24,89
Jul.	39,21	39,21	39,21	39,21	39,21
Agt.	57,40	57,40	57,40	57,40	57,40
Sep.	44,86	44,86	44,86	44,86	44,86

Sumber : Tarigan, 2001

### 2.3.10. Sistem Pengoperasian Waduk Kedung Ombo

Untuk memenuhi kebutuhan air dari waduk, pelepasan melalui saluran tekan dari pipa baja berpenampang lingkaran diameter 3,80 m dengan kecepatan aliran 21,50 m/detik sampai 31,00 m/detik dan kemudian bercabang menjadi pelepasan melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi. Pada kondisi elevasi waduk  $\geq + 67,50$  m sampai elevasi  $+ 90$  m pelepasan air waduk dapat melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi, namun pada kondisi elevasi waduk  $< + 67,50$  m pelepasan air waduk melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi harus ditutup. Kapasitas pengaliran turbin dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pembangkit energi listrik dan debitnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku dan sisanya untuk air irigasi. Kelebihan debit *inflow* ke waduk dapat dilimpahkan melalui bangunan pelimpah sebagai air limpasan.

## BAB III TINJAUAN PUSTAKA

### 3.1. Karakteristik dan Fungsi Suatu Waduk

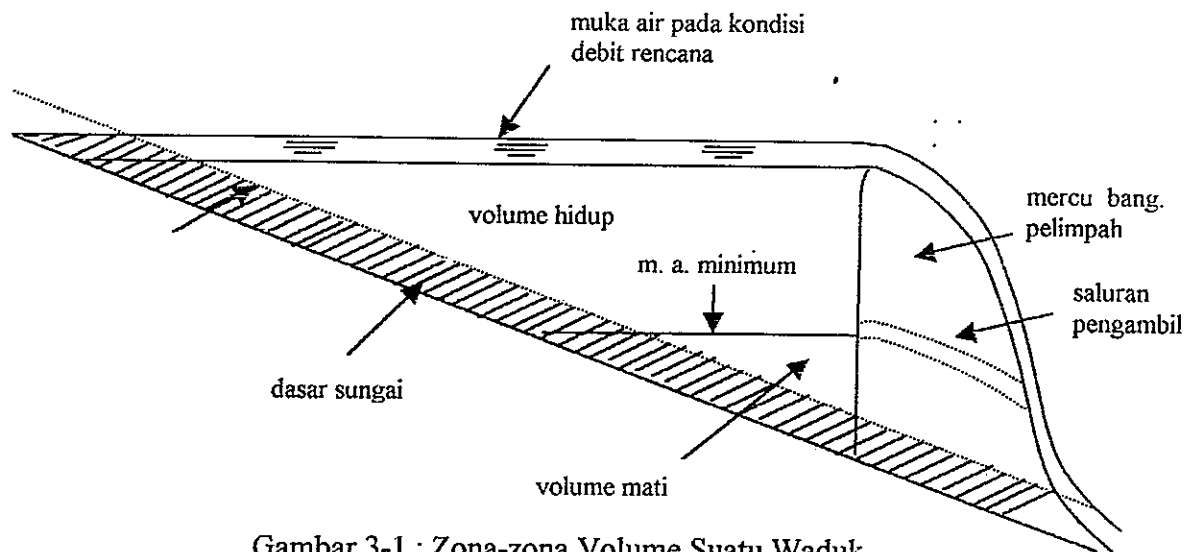
Waduk merupakan suatu tampungan air yang dihasilkan dari pembendungan sungai oleh suatu konstruksi dan berfungsi utama untuk memperkecil variabilitas aliran air permukaan melalui kontrol dan pengaturan. Waduk sebagai penampung air saat-saat debit tinggi dan air digunakan saat-saat debit sangat rendah. Hal ini juga dimaksudkan untuk memodifikasikan distribusi air menurut alam dan menciptakan distribusi air secara buatan.

Penggunaan waduk khusus untuk irigasi, khusus untuk pembangkit tenaga listrik, khusus untuk pengendalian banjir, dan sebagainya disebut waduk eka guna (*single purpose*), dan jika satu waduk sekaligus untuk beberapa keperluan di atas disebut sebagai waduk serba guna (*multi purpose*). Pemakaian air waduk diharapkan dapat diperoleh dari pengoperasian yang optimum berdasarkan hasil analisis. Untuk itu perlu suatu pola pengoperasian waduk agar pengeluaran air dari waduk dapat terkendali secara optimum sesuai kebutuhan, dengan demikian berarti pengeluaran tidak terlalu besar dan juga tidak terlalu kecil.

Suatu waduk mempunyai karakter fisik dengan bagian-bagian pokok yaitu volume tampungan efektif (volume hidup), volume mati, tinggi muka air minimum, tinggi mercu bangunan pelimpah dan tinggi muka air maksimum berdasarkan debit rencana. Zona-zona suatu waduk sebagai reservoir secara umum dapat ditunjukkan sebagaimana Gambar 3-1 berikut (Sudjarwadi, 1989).

IUP T-PUSTAK-UNDIP





Gambar 3-1 : Zona-zona Volume Suatu Waduk

Untuk analisis maupun pengoperasian waduk diperlukan suatu informasi tentang karakter fisik dari suatu waduk, dalam hal ini adalah hubungan antara elevasi muka air waduk, volume tampungan dan luas permukaan air waduk yang lazim disebut dengan persamaan lengkung teoritis waduk.

### 3.2. Pengoperasian Waduk

Perencanaan operasi waduk adalah usaha mendayagunakan air yang ditampung di waduk untuk memenuhi kebutuhan. Pengaturan pola pemanfaatan air waduk didasarkan atas pertimbangan sumberdaya yang tersedia. Pengoperasian waduk untuk maksud pendistribusian pelepasan air dari waduk dalam pemenuhan kebutuhan yang optimum, perencanaan operasi waduk dapat ditempuh dengan teknik optimasi. Dalam penyelesaian teknik optimasi dilakukan penyusunan model matematik dengan model Program Linear (*Linear Programming*), artinya bahwa kasus-kasus dalam dunia nyata harus disusun ke dalam fungsi-fungsi matematik linear. Model Pemograman Linear adalah sebuah model kuantitatif yang dirancang bangun untuk menyelesaikan kasus-kasus tertentu (Siswanto, 1992). Perlu disadari, penyederhanaan kasus-kasus nyata ke dalam model-model kuantitatif bentuk fungsi linear adalah rumit (bukanlah hal yang sederhana) sedang model-model matematik yang mendasarinya juga harus mengikuti hukum-hukum matematik. Meski demikian

jawaban optimal dari penyelesaian Pemograman Linear dapat memberikan pilihan alternatif yang bisa dilaksanakan.

Untuk kasus pengoperasian waduk yang mempunyai satu tujuan (*unidimension*), maupun beberapa tujuan (*multidimension*) analisis dapat dilakukan dengan menggunakan Program Tujuan (*Goal Programming*). Dengan demikian pengoperasian waduk yang berfungsi serba guna, analisis dengan teknik optimasi dapat dilakukan terhadap beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) yang dikenal dengan Program Tujuan (*Goal Programming*). Teknik optimasi dengan Program Tujuan dapat dilakukan dalam bentuk analisis tujuan tunggal (*Single Objective Function*) yang dikenal dengan Program Tujuan Tunggal dan bentuk analisis beberapa tujuan (*Multiple Objective Programming*) yang dikenal dengan Program Tujuan Ganda (PTG).

### 3.2.1. Pola Pengoperasian Waduk Dengan *Rule Curve*

*Rule Curve* pengoperasian waduk adalah kurva/grafik yang menunjukkan hubungan antara elevasi muka air waduk, debit *outflow* dan waktu dalam satu tahun (Indra Karya, 1993). Pada pengoperasian waduk, *Rule Curve* digunakan sebagai pedoman batas kedudukan waduk dalam menentukan pelepasan yang diizinkan dan sebagai harapan untuk memenuhi kebutuhan. Tapi pada kenyataannya elevasi muka air waduk tidak akan pasti sama dengan fluktuasi muka air (*Rule Curve*), sehingga pengaturannya harus diupayakan sama dengan elevasi muka air waduk (*Rule Curve*). Biasanya besar pelepasan sama dengan kebutuhan suplesi, namun waktu muka air waduk mencapai di bawah muka air waduk rencana atau karena suatu pertimbangan tertentu maka hanya sebagian dari kebutuhan suplesi yang dapat di penuhi. Jika elevasi muka air waduk berada di atas muka air rencana maka rencana pelepasan waduk boleh diperbesar dengan nilai tertentu sehingga muka air waduk kenyataan sama dengan elevasi muka air waduk rencana.

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemenuhan kebutuhan suplesi untuk keperluan irigasi, air baku dan PLTA dari operasi waduk, antara lain :

- 1). Dalam hal target untuk PLTA tidak lebih kecil dari target irigasi maka kapasitas waduk akhir ditentukan berdasarkan *release* waduk untuk PLTA., jika sebaliknya maka kapasitas waduk akhir berdasarkan *release* target irigasi.

- 2). Seandainya dengan *release* tersebut di atas, kapasitas akhir periode waduk yang dihasilkan tidak lebih kecil dari kapasitas minimum waduk maka energi listrik yang dibangkitkan dan jika lebih kecil dari kapasitas minimum maka target optimasi/kebutuhan diturunkan (gagal).
- 3). Jika kapasitas akhir ternyata melebihi kapasitas maksimum maka kapasitas kelebihanannya akan dilimpahkan.
- 4). *Release* irigasi dan air baku dipenuhi melalui katup *release* waduk untuk PLTA. Jika kebutuhan irigasi tidak dapat terpenuhi melalui katup tersebut maka katup irigasi dapat dibuka (total pelepasan lebih besar dari kapasitas pengaliran turbin maksimum).

### 3.2.2. Rangkaian (*Time Series*) Debit Waduk

Data hidrologi dapat diperoleh dengan berbagai cara (Soewarno, 1995), diantaranya :

- 1). Mengumpulkan data yang telah dilaporkan atau dipublikasikan oleh kantor pemerintah atau swasta ataupun perorangan sebagai data sekunder.
- 2). Melaksanakan pengukuran di lapangan atau di laboratorium terhadap fenomena hidrologi yang diteliti dengan cara-cara pemilihan sampel yang telah ditentukan sehingga memperoleh data yang dapat menggambarkan populasi yang sebenarnya.

Perkembangan historis dari suatu variabel debit waduk biasanya dapat diamati dari sederetan nilai-nilai variabel menurut waktu, yang disebut dengan *time series*. *Time series* dipakai untuk memperoleh gambaran dari keadaan atau sifat suatu variabel di waktu lalu dan untuk bahan penolong didalam peramalan nilai-nilai variabel tersebut di waktu yang akan datang (Amudi Pasaribu, 1981). Dari serangkaian data yang tersedia sebagai sumber atau bahan analisis seharusnya dapat menerangkan fakta-fakta yang ada, misalnya bagaimana keberadaan trend dari serangkaian debit *inflow* yang ada tersebut. Trend rangkaian data debit *inflow* merupakan gerakan nilai debit yang menentukan arah dari *time series*.

Kelayakkan suatu rangkaian data debit untuk dapat digunakan dalam analisis peluang maupun simulasi dapat menggunakan analisis secara metode statistik. Jika

rangkaian data menunjukkan adanya trend maka analisis harus mengikuti garis trend (Soewarno, 1995), dan datanya tidak disarankan digunakan untuk beberapa analisis, misalnya analisis peluang dan simulasi. Tapi apabila rangkaian data debit *inflow* tersebut menunjukkan tidak ada trend, maka uji stasioner dilakukan untuk menguji kestabilan nilai varian dan nilai rata-rata dari rangkaian data debit *inflow* tersebut.

Untuk memperoleh suatu trend yang representatif dari rangkaian data debit *inflow*, maka dilakukan beberapa analisis pengujian secara statistik sehingga kondisi rangkaian data tersebut dapat diketahui keberadaannya. Kemudian untuk mengetahui taraf nyata dari hasil pengujian yang dilakukan diadakan uji signifikansi pada *confidence level* tertentu (misalnya sebesar 0,01 atau 0,05) untuk menyatakan penolakan atau penerimaan suatu hipotesa yang dirumuskan.

Ada beberapa metode statistik yang dapat digunakan dalam pengujian ketidakadaan trend suatu rangkaian (*time series*) data debit *inflow* antara lain :

1). Uji Korelasi Peringkat *Spearman*

Menentukan ketidakadaan trend dari serangkaian data dengan metode korelasi peringkat *Spearman* dilakukan terhadap pasangan peringkat antara peringkat urutan waktu data dengan peringkat besarnya debit *inflow* yang bersangkutan. Dalam hal ini yang diuji adalah korelasi antara nilai peringkat dari rangkaian data debit dan nilai peringkat dari rangkaian waktu, bukan nilai aktual rangkaian data (Supranto, 1996).

Koefisien korelasi *Spearman* dapat dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995 dan Supranto, 1996) :

$$KPS = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n dt^2}{n^3 - n} \dots\dots\dots 3-1$$

$$t = KPS \cdot \left[ \frac{n-2}{1-KPS^2} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots 3-2$$

Di mana :  $dt = R_t - T_t$

KPS = koefisien korelasi peringkat *Spearman*

$dt$  = selisih nilai peringkat rangkaian data debit tahunan dengan nilai peringkat tahun data.

$T_t$  = nilai peringkat tahun data (variabel waktu)

$R_t$  = nilai peringkat data debit tahunan (variabel debit)

$n$  = jumlah tahun data debit *inflow*

$t$  = nilai uji *level of confidence*

Dengan uji  $t$  pada derajat kebebasan  $(n - 2)$  dan derajat kepercayaan 1 % atau 5 % (*level of confidence*) dapat ditentukan apakah variabel waktu ( $T_t$ ) dan variabel debit ( $R_t$ ) saling tergantung (*dependent*) atau tidak tergantung (*independent*), dengan demikian hipotesis dapat dinyatakan :

- Jika  $-t_{tabel} < t_{hitung} < +t_{tabel}$  :  $H_0$  diterima (variabel waktu dan variabel rangkaian debit saling tidak tergantung/independen).
- Jika  $-t_{tabel} > t_{hitung} > +t_{tabel}$  :  $H_0$  ditolak (variabel waktu dan variabel rangkaian debit adalah dependen).

Jika hasil pengujian menunjukkan ketidakadaan trend maka rangkaian data debit *inflow* dapat digunakan dalam analisis simulasi.

## 2). Uji Mann dan Whitney

Uji Mann dan Whitney (lazim disebut dengan uji U) juga dapat menunjukkan ada atau tidak adanya trend dalam suatu rangkaian data sampel debit *inflow* dengan membagi data debit *inflow* menjadi dua kelompok data. Nilai parameter statistik masing-masing kelompok (kelompok I dan II) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995 dan Supranto, 1996) :

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \dots\dots\dots 3-3$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \dots\dots\dots 3-4$$

$$Z = \frac{U - (n_1 \cdot n_2)}{\left[ \frac{1}{12} (n_1 \cdot n_2 \{n_1 + n_2 + 1\}) \right]^{1/2}} \dots\dots\dots 3-5$$

Nilai terkecil antara  $U_1$  dan  $U_2$  adalah nilai uji  $U$ . Untuk menguji signifikansinya dari nilai uji  $U$  adalah dengan membandingkan nilai  $Z_{hitung}$  dengan nilai  $Z_{tabel}$ , sehingga kesimpulan statistik terhadap hipotesis dapat diambil sebagai berikut :

- Jika  $-Z_{tabel} < Z_{hitung} < +Z_{tabel}$  :  $H_0$  diterima ( data kelompok I dan II dari populasi yang sama)
- Jika  $-Z_{tabel} > Z_{hitung} > +Z_{tabel}$  :  $H_0$  ditolak ( data kelompok I dan II bukan dari populasi yang sama)

Di mana :

$U_1, U_2$  = parameter penentuan nilai “U”

$n_1$  = jumlah data kelompok I

$n_2$  = jumlah data kelompok II

$R_1$  = jumlah nilai peringkat data kelompok I

$R_2$  = jumlah nilai peringkat data kelompok II

$Z$  =  $Z_{hitung}$  uji *Mann – Whitney*

$H_0$  = hipotesis nihil

### 3). Uji Tanda dari *Cox* dan *Stuart*

Pengujian keberadaan trend data dengan Uji tanda *Cox* dan *Stuart* dilakukan dengan memberikan tanda perbedaan positif (+) atau negatif (-) antara pasangan kelompok data. Pasangan kelompok data dapat diperoleh dengan cara membagi data menjadi tiga bagian menurut urutan waktu, dimana setiap bagian diusahakan sama ( $n' = n/3$ ). Jika ketiga bagian data tidak dapat sama, maka data bagian kedua jumlahnya dikurangi 2 atau 1 buah, sehingga pasangan data yang akan dianalisis adalah data bagian 1 sebagai kelompok I dan data bagian 3 sebagai kelompok II. Tanda (+) dan (-) merupakan tanda nilai hasil pengurangan dari kedua kelompok yang dipakai.

Persamaan Uji Tanda dari *Cox* dan *Stuart* dirumuskan sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

Untuk sampel besar :  $n \geq 30$

$$\blacksquare \quad Z = \frac{S - \frac{n}{6}}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \dots\dots\dots 3-6$$

Untuk sampel kecil :  $n < 30$

$$\blacksquare \quad Z = \frac{S - \frac{n}{6} - 0,5}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \dots\dots\dots 3-7$$

Di mana :

S = jumlah yang bertanda positif (+)

n = jumlah data

Z =  $Z_{hitung}$  uji tanda *Cox* dan *Stuart*

Dengan membandingkan nilai  $Z_{hitung}$  dengan nilai  $Z_{tabel}$ , sehingga kesimpulan terhadap statistik hipotesa dapat diambil sebagai berikut :

- Jika  $Z_{hitung} < Z_{tabel}$  :  $H_0$  diterima ( data kelompok I dan II independen)
- Jika  $Z_{hitung} > Z_{tabel}$  :  $H_0$  ditolak ( data kelompok I dan II tidak independen)

#### 4) Uji Stasioner

Uji stasioner digunakan untuk menguji kestabilan “nilai varian” dan “nilai rata-rata” dari rangkaian data debit *inflow* jika rangkaian data debit *inflow* menunjukkan tidak ada trend. Dalam pengujian rangkaian data debit *inflow* dibagi menjadi dua bagian (kelompok I dan kelompok II). Perumusan uji kestabilan varian dan nilai rata-rata serta hipotesisnya dapat dinyatakan sebagai berikut :

Uji ke-stabilan varian

$$\blacksquare \quad F = \frac{n_1 \cdot S_1^2 \cdot (n_2 - 1)}{n_2 \cdot S_2^2 \cdot (n_1 - 1)} \dots\dots\dots 3-8$$

$$S_1 = \left[ \frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n_1 - 1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots 3-9$$

$$S_2 = \left[ \frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n_2 - 1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots 3-10$$

- Uji ke-stabilan nilai rata-rata

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}} \dots\dots\dots 3-11$$

$$\sigma = \left( \frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots 3-12$$

Dengan membandingkan nilai  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$  dan nilai  $t_{hitung}$  dengan nilai  $t_{tabel}$ , kesimpulan terhadap statistik dapat diambil sebagai berikut :

- Jika  $t_{hitung} < t_{tabel}$  :  $H_0$  diterima (nilai rata-rata kelompok I dan II tidak ada beda nyata)
- Jika  $t_{hitung} > t_{tabel}$  :  $H_0$  ditolak (nilai rata-rata kelompok I dan II berbeda nyata)
- Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$  :  $H_0$  diterima (nilai varian kelompok I dan II tidak ada beda nyata)
- Jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$  :  $H_0$  ditolak (nilai varian kelompok I dan II berbeda nyata)



Di mana :

$F$  =  $F_{hitung}$  uji kestabilan varian

$t$  =  $t_{hitung}$  kestabilan nilai rata-rata

$\bar{X}_1$  = rata-rata hitung rangkaian data kelompok I

$\bar{X}_2$  = rata-rata hitung rangkaian data kelompok II

$S_1$  = standart deviasi rangkaian data kelompok I

$S_2$  = standart deviasi rangkaian data kelompok II

$n_1$  = jumlah rangkaian data kelompok I

$n_2$  = jumlah rangkaian data kelompok II

$H_0$  = hipotesis nihil

### 3.2.3. Skenario Pola Debit *Inflow* Waduk

Untuk pertimbangan pemakaian debit *inflow* waduk terhadap berbagai kemungkinan dari kondisi air berlebih sampai dengan air kurang, sehingga kebutuhan air yang disuplai dari waduk dapat diperhitungkan atas dasar skenario pola debit *inflow* andalan, misalnya untuk kondisi Tahun Basah, Tahun Normal, Tahun Cukup dan Tahun Kering (Indra Karya, 1993). Skenario pola debit *inflow* dapat membantu dalam evaluasi akibat pengaruh perobahan infrastruktur bangunan air, misalnya penambahan waduk, bendung, saluran irigasi/air baku dan atau pengembangan luas daerah irigasi. Skenario kelompok pola debit *inflow* dilakukan (Subarkah, 1980; Sosrodarsono dan Takeda, 1987; Pranoto, 1994) sebagai berikut:

- 1). Dari rangkaian debit *inflow* rata-rata tahunan diurutkan dari terbesar sampai terkecil dengan persentase waktu disamai atau terlampaui dapat dirumuskan :

$$P = \frac{n}{N + 1} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots 3-13$$

Di mana :

$P$  = persentase waktu disamai atau terlampaui

$N$  = jumlah data dan  $n$  = nomor urut data

(Subarkah, 1980).

- 2). Setelah diurutkan, diplot dalam bentuk grafik dan di bagi menjadi kelompok pola debit *inflow* tahunan misalnya pada kondisi debit *inflow* Tahun Basah, debit

*inflow* Tahun Normal, debit *inflow* Tahun Cukup dan debit *inflow* Tahun Kering (secara visual) dengan batasan debit *inflow* antar kelompok tersebut.

- 3). Debit rata-rata bulanan yang sama setiap kelompok merupakan debit *inflow* bulanan untuk masing-masing kelompok skenario.

### 3.3. Optimasi Operasi Waduk

Untuk memanfaatkan sumber daya air secara optimal (kasus optimasi) umumnya dapat menggunakan penyelesaian secara matematik sebagai bagian dari “*mathematical programming*”. Teknik analisis optimasi untuk mencapai penyelesaian optimal yang termasuk dalam *mathematical programming* adalah :

#### 1). *Calculus Method*

Merupakan cara klasik yang dapat dipergunakan untuk menentukan nilai optimal dari suatu fungsi kontinyu dan dapat di deferensialkan ( di turunkan ). Disamping itu *calculus method* hanya terbatas untuk pemakaian praktis karena beberapa persoalan dapat melibatkan fungsi tujuan yang tidak bersifat kontinyu (tidak dapat di deferensialkan).

#### 2). *Linear Programming (LP)*

Merupakan salah satu teknik optimasi yang memakai model matematik di mana peubah-peubah yang membentuk model Program Linear dianggap linear, sedangkan bahasa yang dipakai dalam model adalah logika simbolik (logika matematik). Model matematiknya mempunyai ciri utama bahwa keadaan nyata dapat disusun dalam abstraksi dengan menggunakan simbol-simbol matematik bagaimanapun kompleksnya suatu persoalan sepanjang bisa diidentifikasi.

#### 3). *Non Linear Programming (NLP)*

Merupakan teknik optimasi yang dapat digunakan untuk persoalan sumber daya air yang menunjukkan fenomena hubungan tidak linear. Menurut keadaan yang sesungguhnya persoalan fenomena sumber daya air jarang sekali yang menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran merupakan suatu sistem yang linear. Pada prinsipnya tidak semua fungsi (fungsi tujuan dan fungsi kendala) adalah linear, akan tetapi dapat berupa fungsi tujuan berbentuk linear

✓

dan fungsi kendala berbentuk tidak linear atau sebaliknya, di mana fungsi tujuan berbentuk tidak linear dan fungsi kendala berbentuk linear.

#### 4). *Integer Programming* (IP)

Merupakan pemograman di mana satu atau beberapa peubah-peubah memiliki nilai integer (bulat). Masalah-masalah yang timbul seringkali berukuran sangat panjang sehingga sulit untuk diselesaikan. Adapun jenis dari pemograman ini dapat berupa model total integer, model 0-1 dan model integer campuran.

#### 5). *Dynamic Programming* (DP)

Merupakan salah satu teknik hitungan untuk optimasi sumber daya air yang dapat diterapkan pada kasus yang bersifat multi tahap karena itu termasuk kategori persoalan "*Multi Stage Decision Making*". Tipe pendekatan umum dalam pemecahan persoalan dapat dengan menggunakan persamaan-persamaan yang disesuaikan dengan situasi yang bersifat individual.

#### 6). *Integer Linear Programming* (ILP)

Merupakan pemograman integer yang penyelesaiannya dengan menggunakan metode simplek program linear-relaksasi (pengunduran) dan kemudian membulatkan penyelesaian optimalnya menjadi penyelesaian layak berupa bilangan bulat. Kadang-kadang pendekatan penyelesaian ini tidak memuaskan karena penyelesaian yang ditemukan mungkin saja jauh dari optimal.

Sehubungan dengan hal-hal tersebut dan untuk analisis mengoptimalkan pengoperasian Waduk Kedung Ombo dapat menggunakan teknik optimasi Program Linear, karena fenomena-fenomena nyata yang ada dapat disusun dalam abstraksi dengan menggunakan simbol-simbol matematik, baik dalam bentuk fungsi tujuan maupun dalam batasan kendala yang ada (fungsi kendala) di mana peubah-peubah yang membentuknya dapat dianggap linear.

Untuk kasus Pemograman Linear yang sederhana dengan mudah dapat menggunakan penyelesaian secara grafis (geometri), namun *George Dantzig* (1948) mengembangkan Metode Simplex yang dapat menyelesaikan kasus Pemograman Linear pada kasus yang melibatkan lebih dari dua variabel putusan (*algoritma simplex*). Untuk suatu persoalan yang mengandung beberapa tujuan di dalamnya, maka Program Linear tidak dapat memberikan pertimbangan yang

rasional. Oleh karena itu persoalan tersebut memerlukan bantuan Program Tujuan. Pada prinsipnya Program Tujuan hampir sama dengan program linear biasa dan seluruhnya terdiri dari fungsi linear, karena itu Program Tujuan Ganda juga dapat dianalisis secara grafik dan metode simplek versi modifikasi. Program Tujuan Ganda diperkenalkan pertama kali oleh *Charnes* (1961), kemudian dilanjutkan dan dilengkapi oleh *Ijiri* (1965) dan *Jaaskelainen* (1969) sehingga dapat dipakai secara operasional (Nasendi dan Affendi Anwar, 1985). Di Jerman Barat Program Tujuan Ganda dikenal dengan nama *psychometric method*, dan disebut *metzwertanalyes*. Di Indonesia penerapan Program Tujuan Ganda sudah mulai banyak dikembangkan dan dipakai di beberapa bidang (Nasendi dan Affendi Anwar, 1986), antara lain di bidang perencanaan kehutanan, industri perikanan, pola pengangkutan hasil hutan, lokasi pelabuhan, dan lain sebagainya. Dalam penyelesaian kasus-kasus Pemograman Linear, peranan komputer sangat besar karena algoritma simplex maupun program paket komputer dapat diselesaikan dalam waktu yang relatif singkat. Program paket komputer yang dirancang untuk penyelesaian kasus-kasus Pemograman Linear antara lain QSB, LINDO, *Spreadsheet*, dan sebagainya. Demikian juga beberapa skenario atau alternatif simulasi perlu dilakukan guna mengevaluasi pengaruh akibat penambahan luasan daerah irigasi. Skenario dapat dilakukan berdasarkan rata-rata debit *inflow* bulanan sepanjang data debit andalan yang dibagi menjadi kelompok skenario pola debit *inflow* tahunan.

### 3.3.1. Model Program Linear dan Program Tujuan

Program linear merupakan teknik optimasi yang banyak dipakai untuk permasalahan operasi dan pengelolaan yang sederhana sampai permasalahan yang kompleks, (*Wurbs*, 1996). Penggunaan program linear sangat membantu penyelesaian masalah-masalah pengembangan sumber daya air yang kompleks, hal ini terbukti dengan banyaknya ahli yang menganalisis permasalahan sumber daya air yang kompleks ke dalam bentuk kesamaan-kesamaan maupun ketidaksamaan matematis yang linear antara lain *Loucks* dan *Dorfman* (1975), *Houck* dkk (1980), dan *Joeres* dkk (1981) (dalam Nasendi dan Affendi Anwar, 1985).

Pada hakikatnya program linear merupakan suatu teknik perencanaan yang analisis-analisisnya memakai model matematika, dengan tujuan menemukan penyelesaian

masalah untuk mencapai suatu tujuan yang diinginkan secara “optimal” dan dengan terpenuhinya persyaratan-persyaratan yang dikehendaki oleh syarat-ikatan dalam bentuk ketidaksamaan dan kesamaan fungsi yang linear. Terminologi umum pada pemograman linear di mana suatu tujuan dioptimalkan disebut fungsi tujuan sedangkan restriksi-restriksi dinamakan kendala-kendala yang mewakili pemakaian sumberdaya tersedia.

Analisis Program Tujuan (*Goal Programming*) bertujuan untuk meminimumkan jarak antara atau deviasi terhadap tujuan, target, atau sasaran yang telah ditetapkan dengan usaha yang dapat ditempuh untuk mencapai target atau tujuan tersebut secara “memuaskan” sesuai dengan batasan syarat ikatan sumber daya yang tersedia, teknologi yang ada, kendala tujuan, dan sebagainya (Nasendi dan Affendi Anwar, 1985). Logika pemecahan dalam model Program Tujuan adalah berusaha untuk mencapai tujuan-tujuan dari fungsi tujuan sesuai urutan prioritas, artinya jika suatu tujuan telah tercapai prioritas berikutnya akan dihitung sehingga tujuan yang mempunyai tingkat yang lebih tinggi tidak akan dikorbankan untuk tujuan yang bertingkat lebih rendah. Jadi solusi model Program Tujuan merupakan penyelesaian yang paling memuaskan, bukan merupakan pemecahan optimal sebagaimana solusi Program Linear karena adanya kelemahan dan kekurangan dalam memiliki informasi atau waktu yang cukup untuk mengumpulkan informasi yang lengkap dibanding dengan model Program Linear yang dalam solusinya hanya mengandung satu tujuan. Di dalam prakteknya solusi Program Tujuan merupakan hasil yang mendekati optimal untuk memuaskan tujuan-tujuan sebaik mungkin.

Program Linear dapat meminimumkan atau memaksimumkan suatu fungsi tujuan tertentu tetapi dengan Program Tujuan berusaha untuk meminimumkan deviasi di antara berbagai tujuan atau sasaran yang ditetapkan, yaitu meminimumkan jarak antara batas yang dapat dicapai oleh fungsi tujuan sebagaimana yang dikehendaki oleh berbagai fungsi kendala yang mengikat fungsi tujuan tersebut sebagai syaratnya. Dengan demikian Program Linear hanya dapat bergerak dalam analisis masalah-masalah tujuan tunggal (*unidimensional*), sedang Program Tujuan dapat bergerak dalam masalah-masalah tujuan tunggal (*unidimensional*) maupun masalah-masalah ganda atau lebih dari dua (*multidimensional*). Asumsi-asumsi dasar yang berlaku untuk Program Linear juga

berlaku bagi Program Tujuan. Peubah-peubah deviasional dalam Program Tujuan yang terdiri dari peubah positif dan negatif adalah tidak lain daripada peubah-peubah slek dan surplus dalam program linear. Selain itu program linear memakai ukuran dalam unit yang tetap, misalnya nilai uang rupiah atau dollar, sedangkan dalam program tujuan dapat memakai unit fisik seperti kg, m<sup>3</sup>, ton, persen, jumlah mobil, batang pohon, kapal dan sebagainya.

### 3.3.2. Model dan Perumusan Matematik Program Linear

Teknik program linear dapat dipakai apabila terdapat hubungan linear dari beberapa variabel yang dioptimasi, baik pada Fungsi Tujuan (*Objective Function*) maupun Fungsi Kendala (*constraint function*) yang diekspresikan dalam bentuk matematik sebagai fungsi variabel keputusan (*decision variabel*). Persamaan umum dinyatakan dalam persamaan berikut (*Haimes, 1977; Winston, 1987; Wurbs, 1996*) :

- Fungsi tujuan:

$$\text{Memaksimum/meminimumkan } Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j \dots\dots\dots 3-14$$

- Fungsi kendala:  $\sum A_{ij} X_j = B_i \dots\dots\dots 3-15$

Contoh :

$$\begin{aligned} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots\dots\dots + A_{1n}X_n (\leq \text{atau} \geq \text{atau} =) B_1 \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots\dots\dots + A_{2n}X_n (\leq \text{atau} \geq \text{atau} =) B_2 \\ A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots\dots\dots + A_{mn}X_n (\leq \text{atau} \geq \text{atau} =) B_m \end{aligned}$$

- Dan syarat non-negatif,

$$X_j \geq 0 \text{ untuk } j = 1, 2, 3, \dots\dots\dots, n$$

Di mana :

$Z_{\min./\text{maks.}}$  = fungsi tujuan yang dimaksimumkan atau diminimumkan

$C_j$  = koefisien fungsi tujuan berupa harga marginal dari variabel putusan

$X_j$  = variabel putusan

- $A_{ij}$  = koefisien fungsi kendala berupa besarnya sumberdaya yang diperlukan setiap unit variabel putusan.
- $B_i$  = tujuan atau target yang ingin dicapai
- $j$  = 1, 2, 3, ..., n indeks, untuk jumlah variabel putusan
- $i$  = 1, 2, 3, ..., m indeks, untuk jumlah persamaan kendala
- $n$  = jumlah variabel putusan
- $m$  = jumlah persamaan kendala

Dari ketidaksamaan atau kesamaan di atas, fungsi kendala terdiri dari “m” set persamaan dan “n” variabel yang dicari nilainya. Apabila “n” variabel yang dicari nilainya, lebih banyak dari “m” set persamaan, maka persamaan-persamaan dari sistem tidak dapat dihitung (Wurbs, 1996).

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa penyelesaian kasus optimasi Program Linear yang mengandung beberapa variabel putusan dapat diselesaikan dengan metode simplek. Perumusan-perumusan matematik kendala kasus tersebut terlebih dahulu harus diubah ke dalam bentuk baku model persamaan simplek. Aturan untuk menyusun bentuk baku kendala persamaan sebagai berikut (Siswanto, 1992) :

- 1). Tambahkan *Slack Variabel* (S) pada kendala pertidaksamaan  $\leq$
- 2). Tambahkan *Surplus Variabel* (S) dan *Artificial Variabel* (a) pada kendala pertidaksamaan  $\geq$
- 3). Tambahkan *Artificial Variabel* (a) pada kendala persamaan  $=$

Contoh pengubahan kendala pertidaksamaan ke dalam bentuk baku persamaan simplek adalah :

Pertidaksamaan/persamaan	Bentuk baku persamaan
$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n \leq B_1$	$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n + S_1 = B_1$
$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n \geq B_1$	$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n - S_1 + a_1 = B_1$
$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n = B_1$	$A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n + a_1 = B_1$

Dengan ditambahkan *slack variabel* ( $S_i$  selalu bertanda positif) atau *surplus variabel* ( $S_i$  selalu bertanda negatif) pada kendala ketidaksamaan ( $\leq$  atau  $\geq$ ) dan *artificial variabel* ( $a_i$  pada kendala kesamaan ( $=$ ) atau pada kendala ketidaksamaan ( $\geq$ ), maka semua ketidaksamaan berubah menjadi kesamaan ( $=$ ). *Slack variabel*

berfungsi untuk menambah ruas kiri, *surplus variabel* berfungsi untuk mengurangi ruas kiri, sedang *artificial variabel* hanya memiliki nilai nol. *Artificial variabel* merupakan variabel yang ditambahkan kedalam kendala yang sudah dalam bentuk kesamaan agar diperhitungkan oleh algoritma simplek.

Dengan perumusan-perumusan matematik kendala yang diubah ke dalam bentuk baku model persamaan simplek, hasil optimal penyelesaian berhasil memberikan informasi yang diperlukan yaitu tentang nilai Fungsi Tujuan yang dioptimalkan, nilai optimalitas Variabel Putusan dan informasi kendala aktif yang tidak lagi mempunyai sisa kapasitas di mana nilai Fungsi Tujuan masih dioptimalkan sebesar nilai Marjinalnya jika nilai Marjinalnya positif, sedangkan pada kendala tidak aktif yang masih mempunyai sisa kapasitas di mana sisa kapasitasnya tersebut tidak akan menyebabkan nilai tambahan Fungsi Tujuan karena nilai Marjinalnya nol. Perlu diketahui bahwa nilai Marjinal hanya valid pada interval tertentu untuk penambahan/pengurangan nilai Fungsi Tujuan, halmana dapat dihasilkan dari keluaran analisis dengan menggunakan paket Program LINDO. Di samping itu informasi tambahan yang sangat penting antara lain mengenai situasi kendala yang berlebihan, nilai tujuan yang tidak nyata (*infeasible solution*), nilai tujuan yang tidak terbatas (*unbounded solution*), nilai tambah fasilitas dan hal lain yang tidak mungkin dihasilkan dari penyelesaian dengan metode grafik. Hal ini dapat dianalisis dengan menggunakan paket Program LINDO.

### 3.3.3. Model dan Perumusan Matematik Program Tujuan

Untuk memecahkan masalah yang mempunyai beberapa tujuan, Program Tujuan (*Goal Programming*) merupakan teknik yang layak dipergunakan. Penggunaan solusi Program Tujuan sama dengan mengembangkan model Program Linear. Pendekatan solusi Program Tujuan dapat juga diilustrasikan dengan metode grafik atau merupakan versi metode simpleks yang dimodifikasi.

Sasaran dalam analisis Program Tujuan adalah usaha memperkecil kekurangan atau kelebihan (deviasi) berbagai tujuan atau target yang telah ditetapkan dengan anggapan bahwa target pelayanan yang ditetapkan tidak terpenuhi atau terlewatkan dapat diterima atau tidak dapat diterima. Pada analisis Program Linear berupa usaha agar bentuk pertidaksamaan ( $\leq$ ,  $\geq$ ) dapat merupakan bentuk persamaan ( $=$ ) dengan



*slack* pada bentuk pertidaksamaan ( $\leq$ ) dan *Surplus* pada bentuk pertidaksamaan ( $\geq$ ). Pada prinsipnya deviasi-deviasi pada Program Tujuan tidak lain dari pada *Slack* dan *Surplus* pada Program Linear.

Dalam penyelesaian model dengan beberapa tujuan (tujuan ganda) yang memiliki struktur timbangan pengutamaan (*preemptive weights*) dilakukan dengan pembagian prioritas, di mana tujuan yang paling penting ditentukan sebagai prioritas ke-1 dan yang kurang penting ditentukan sebagai prioritas ke-2 dan seterusnya disusun dalam bentuk suatu urutan (*ranking*) menurut prioritas yang diberikan. Faktor prioritas yang lebih tinggi mempunyai hubungan jauh lebih tinggi dari pada prioritas berikutnya, hal mana dapat diilustrasikan sebagai :  $P_1 \gg P_2 \gg P_i \gg P_{i+1}$ . Hubungan prioritas menunjukkan bahwa walaupun faktor prioritas tersebut digandakan atau dikalikan sebanyak  $n$  kali (di mana  $n > 0$ ), namun faktor yang diprioritaskan tersebut akan tetap menjadi yang teratas, misalnya  $nP_{i+1} > P_i$ .

Model umum dari Program Tujuan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1). Program Tujuan Ganda tanpa faktor prioritas di dalam strukturnya

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Minimise } Z &= \sum_{i=1}^m W_i (d_i^+ + d_i^-) \\ &= \sum_{i=1}^m W_i^+ d_i^+ + W_i^- d_i^- \dots\dots\dots 3-16 \end{aligned}$$

$$\bullet \text{ Syarat ikatan : } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \dots\dots\dots 3-17$$

Untuk  $i = 1, 2, \dots, m$

$$\sum_{j=1}^n g_{kj} X_j \leq \text{atau} \geq C_k \dots\dots\dots 3-18$$

Untuk  $k = 1, 2, \dots, p$  (kendala fungsional) dan  $j = 1, 2, \dots, n$

$$X_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \dots\dots\dots 3-19$$

(Non negatif)

$$d_i^- \cdot d_i^+ = 0$$

Di mana :

- $X_j$  = peubah pengambilan keputusan atau kegiatan yang dinamakan sebagai sub tujuan.
- $d_i^+$  dan  $d_i^-$  = jumlah unit deviasi yang kekurangan (-) atau kelebihan (+) terhadap tujuan ( $b_i$ ).
- $W_i^+$  dan  $W_i^-$  = timbangan atau penalti (ordinal atau kardinal) yang diberikan terhadap suatu unit deviasi yang kekurangan (-) atau kelebihan (+) terhadap tujuan
- $a_{ij}$  = koefisien teknologi fungsi kendala tujuan, yaitu yang berhubungan dengan peubah-peubah pengambilan keputusan ( $X_j$ ).
- $b_i$  = tujuan atau target yang ingin dicapai.
- $g_{kj}$  = koefisien teknologi fungsi kendala biasa atau fungsi kendala fungsional yang berhubungan dengan peubah-peubah pengambilan keputusan ( $X_j$ ).
- $C_k$  = jumlah sumber daya k yang tersedia.

## 2). Program Tujuan Ganda dengan prioritas di dalam strukturnya

$$\bullet \text{ Minimise } Z = \sum_{i=1}^m (P_y W_{i,y}^+ d_i^+ + P_s W_{i,s}^- d_i^-) \dots\dots\dots 3-20$$

$$\bullet \text{ Syarat ikatan : } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + d_i^- - d_i^+ = b_i \dots\dots\dots 3-21$$

Untuk  $i = 1, 2, \dots, m$  (fungsi tujuan)

$$\sum_{j=1}^n g_{kj} X_j \leq \text{atau} \geq C_k \dots\dots\dots 3-22$$

Untuk  $k = 1, 2, \dots, p$  (kendala fungsional) dan  $j = 1, 2, \dots, n$

$$X_j, d_i^-, d_i^+ \geq 0 \text{ (non negatif)}$$

$$d_i^-, d_i^+ = 0$$

Di mana :

- $P_y, P_s$  = faktor prioritas pada urutan pertimbangan ke-y dan ke-s
- $W_{i,y}^+$  = timbangan relatif dari  $d_i^+$  sesuai urutan (rangking) ke-y
- $W_{i,s}^-$  = timbangan relatif dari  $d_i^-$  sesuai urutan ke-s

Dari model persamaan matematis tersebut terdapat  $m$  buah tujuan,  $p$  kendala fungsional, dan  $n$  peubah pengambilan keputusan. Perlu diperhatikan, bahwa deviasi minus ( $d^-$ ) dan deviasi plus ( $d^+$ ) dari tujuan atau target yang ditetapkan tidak dapat dicapai secara sekaligus atau simultan, maka salah satu dari peubah deviasional atau kedua-duanya akan menjadi nol sebagaimana ditunjukkan oleh rumusan sebagai berikut :

$$d_i^- = \begin{cases} l_i - Z_i, & \text{jika } l_i > Z_i \\ 0, & \text{jika } l_i \leq Z_i \end{cases} \dots\dots\dots 3-23a$$

$$d_i^+ = \begin{cases} 0, & \text{jika } l_i \geq Z_i \\ Z_i - l_i, & \text{jika } l_i < Z_i \end{cases} \dots\dots\dots 3-23b$$

Di mana :  $l_i$  = target dan  $Z_i$  = tujuan

Berhubung deviasi-deviasi (  $d^-$  dan  $d^+$  ) dari tujuan atau target yang ditetapkan tidak dapat dicapai secara sekaligus (simultan) dan juga tidak terdapatnya refrensi terhadap mana yang lebih diutamakan dan diberikan bobot lebih dari pada lainnya, maka untuk sistem pelayanan kebutuhan air kelebihan ( $d^+$ ) dianggap dapat diterima dari pada kekurangan air ( $d^-$ ), dengan demikian bahwa bobot atau timbangan pada kekurangan air ( $d^-$ ) diberi 2 kali lipat ( $W^- = 2W^+$ ).

### 3.3.4. Paket Program LINDO

Untuk kasus-kasus persamaan program linear baik bentuk persamaan yang sederhana maupun bentuk persamaan yang kompleks termasuk program *linear integer* binari dan program *quadratic* dapat diselesaikan dengan paket Program LINDO. Demikian juga dengan kasus-kasus Program Tujuan yang merupakan modifikasi dari metode simplek. Cara memformulasi Program Tujuan hampir sama dengan Program Linear, dan asumsi-asumsi dasar yang berlaku untuk Program Linear juga berlaku bagi Program Tujuan Ganda. Paket Program LINDO (*Linier Interactive Discrete Optimizer*) dirancang secara khusus oleh *Linus Schrage*, 1981 (dalam *Winston*, 1987).

Jika program ini diberi masukan persamaan linear maka persamaan tersebut akan diuraikan menjadi persamaan baku linear simplek. Hasil olahan komputer format LINDO memuat informasi-informasi yang lebih kompleks dibandingkan dengan hasil analisis metode Algoritma Simplex. Hasil yang disajikan dari pengolahan persamaan linear oleh paket Program LINDO dapat dikelompokkan dalam dua kelompok utama yaitu:

- 1). Informasi penyelesaian optimal yang memuat tentang: Nilai Tujuan ( $Z$ ), Nilai Variabel Putusan / *Reduced Cost* ( $X_i$ ), Nilai *Slack* atau *Surplus* ( $S$ ) dan Nilai Marjinal (*Dual Price*) sebagaimana halnya dengan metode Algoritma Simplex. *Slack* atau *Surplus* yang bernilai nol (0,00) menunjukkan kedudukan kendala aktif dengan nilai marjinal atau *Dual Pricenya* adalah positif.
- 2). Informasi Analisis Sensitifitas yang memuat tentang: analisis sensitifitas terhadap parameter koefisien fungsi tujuan ( $C_j$ ) dan parameter Nilai Ruas Kanan (NRK) sebagai tujuan, target atau sasaran yang ingin dicapai.

Dengan demikian tentu saja akan sangat membantu dalam menganalisa alternatif-alternatif penyelesaian jawab optimal dari persamaan-persamaan linear yang dibuat.

### 3.3.5. Analisis Sensitivitas

Setelah hasil olahan optimal dari kasus pemograman linear ditemukan maka analisis sensitifitas dilakukan terhadap kemungkinan perubahan parameter-parameter model. Semua parameter model merupakan konstanta-konstanta yang diketahui dan biasanya hanya merupakan penduga yang berdasarkan pada suatu prediksi mengenai keadaan di waktu yang akan datang (Hillier, 1994).

Karakteristik perubahan koefisien fungsi tujuan ( $C_j$ ) sehubungan dengan analisis sensitifitas dapat dirumuskan sebagai berikut (Siswanto, 1992) :

- 1). Analisis Sensitifitas  $C_j$  menunjukkan sampai sejauh mana salah satu parameter  $C_j$  boleh berubah ketika parameter  $C_j$  yang lain tetap tanpa merusak optimalitas penyelesaian. Perubahan diluar interval sensitifitas yang diperbolehkan hanya akan menyebabkan nilai optimal Variabel Putusan berubah.
- 2). Perubahan parameter  $C_j$  secara serentak bisa tidak mengubah optimalitas penyelesaian, namun bisa juga mengubah optimalitas penyelesaian meskipun

perubahan tersebut masih berada di dalam interval sensitivitas yang diperbolehkan (dipengaruhi perubahan arah Fungsi Tujuan).

- 3). Perubahan salah satu parameter  $C_j$  di dalam batas yang diperbolehkan akan mengubah Nilai Fungsi Tujuan sebesar perubahan nilai  $C_j$  kali nilai optimal Variabel Putusan yang bersangkutan.

Demikian juga tentang perubahan Nilai Ruas Kanan (NRK) dari analisis sensitifitas dapat dirumuskan sebagai berikut (Siswanto, 1992) :

- 1). *Dual Price* atau Nilai Marjinal suatu kendala mencerminkan penambahan atau pengurangan Nilai Fungsi Tujuan pada saat kapasitas kendala (NRK) tersebut ditambah atau dikurangi satu unit.
- 2). *Dual Price* atau Nilai Marjinal suatu kendala hanya sah bagi penambahan NRK yang sesuai dengan Analisis Sensitifitasnya.
- 3). Analisis Sensitifitas NRK menunjukkan perubahan yang boleh dilakukan hanya pada *Dual Price* atau Nilai Marjinal optimum.

### 3.4. Simulasi Operasi Waduk

Dalam permasalahan pendayagunaan sumber daya air, simulasi merupakan suatu teknik pemodelan untuk menirukan perilaku suatu sistem kedalam suatu model. Model simulasi digunakan untuk mengevaluasi apa yang akan terjadi di dalam sistem jika diberikan masukan-masukan tertentu. Dengan demikian pola pengelolaan sistem dapat dievaluasi dengan mempelajari perilaku sistem terhadap masukan berbagai skenario pada sistem. Akan tetapi, perlu diketahui bahwa simulasi bukan merupakan prosedur optimasi (Loucks dkk, 1981), namun untuk menentukan tingkat keandalan/kegagalan terhadap perilaku pengoperasian diperlukan simulasi operasi waduk.

### 3.4.1. Tujuan Simulasi Operasi Waduk

Simulasi operasi waduk digunakan untuk meninjau sejauh mana tingkat keandalan/kegagalan yang terjadi dari perilaku sistem pengoperasian waduk dalam memenuhi kebutuhan pelayanannya. Model simulasi akan menganalisis probabilitas /keandalan/kegagalan rencana operasi yang telah ditetapkan. Kegagalan tersebut muncul akibat penyederhanaan masukan stokastik menjadi nilai deterministik. Prinsip dasar simulasi merupakan pengembangan dari persamaan kontinuitas, yaitu:

$$Inflow-Outflow = \frac{ds}{dt} \dots\dots\dots 3-24$$

Di mana :

*Inflow* = aliran masuk (juta m<sup>3</sup>/bulan), merupakan data debit historis.

*Outflow* = aliran keluar (juta m<sup>3</sup>/bulan), pengalihragaman *inflow* untuk memenuhi kebutuhan.

$\frac{ds}{dt}$  = perubahan tampungan terhadap waktu

Beberapa pendekatan simulasi waduk dapat dilakukan sebagai berikut :

- 1). Simulasi berdasarkan data debit *inflow* historis dan diasumsikan sudah mewakili proses sebenarnya.
- 2). Kehilangan air bulanan (*Evaporasi* dan rembesan) merupakan fungsi dari luas genangan waduk.
- 3). Tampungan pada awal tahun pengoperasian waduk dianggap penuh (McMahon dan Mein, 1978).
- 4). Volume tampungan awal tahun pengoperasian dan volume tampungan akhir tahun pengoperasian diasumsikan sama,  $S_0 = S_{12}$  (Wurbs, 1996).
- 5). Tampungan waduk di akhir bulan tidak diperkenankan kurang dari kapasitas minimum dan melebihi kapasitas maksimum.
- 6). Air yang melimpas melalui bangunan pelimpah tidak diperhitungkan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan atau diasumsikan sebagai kelebihan (Martsanto, 1990).

7). Hukum kesetimbangan air waduk adalah :

$$I_t = RL_t + LE_t + SP_t + S_t - S_{t-1} \dots\dots\dots 3-25$$

$$S_{0(\text{awal})} = S_{12} \text{ (Wurbs, 1996)} \dots\dots\dots 3-26$$

Di mana:

$I_t$  = debit *inflow* waduk pada bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$RL_t$  = release waduk pada bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$SP_t$  = limpasan yang terjadi pada bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$LE_t$  = kehilangan air waduk pada bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$S_t$  = tampungan waduk pada akhir bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$S_{t-1}$  = tampungan waduk awal bulan ke- $t$  (juta  $m^3$ /bulan)

$t$  = 1, 2, 3, ....., 12

### 3.4.2. Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk

Dalam melakukan evaluasi terhadap perilaku pengoperasian waduk serta efisiensi waduk dalam memenuhi fungsinya sebagaimana yang direncanakan perlu diketahui unjuk kerja (*performance*) dari waduk tersebut. Ada beberapa indikator unjuk kerja yang mampu memberikan indikasi seberapa jauh intensitas kegagalan dan berapa lama kegagalan itu terjadi dalam pengoperasian waduk untuk memenuhi kebutuhannya. Unjuk kerja tersebut adalah :

#### 1). Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan indikator untuk mengetahui seberapa besar kemampuan waduk dapat memenuhi kebutuhan yang ditargetkan. Ada dua macam definisi keandalan yaitu (*McMahon dan Mein, 1978*) :

- Persentase kejadian di mana waduk mampu memenuhi kebutuhannya.

Seringkali pada definisi ini keandalan dapat dikaitkan dengan kegagalan. Dalam hal ini, waduk dianggap gagal jika waduk tidak dapat mensuplai kebutuhannya.

Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$Z_t = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \\ 0 & \text{untuk } R_t < D_t \end{cases} \dots\dots\dots 3-27$$

- Rata-rata persentase pelepasan waduk dibanding dengan target kebutuhan.

Dalam definisi ini, meskipun suplesi waduk tidak dapat memenuhi kebutuhannya waduk tidak dianggap gagal total. Akan tetapi dianggap waduk hanya dapat mensuplai sebagian dari kebutuhannya.

Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$Z_t = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \\ \frac{R_t}{D_t} & \text{untuk } R_t < D_t \end{cases} \quad \dots\dots\dots 3-28$$

Keandalan dalam jangka panjang untuk kedua definisi tersebut di atas dapat dihitung dengan rumus :

$$\alpha = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t \quad \dots\dots\dots 3-29$$

## 2). Kelentingan (*Resiliency*)

Kelentingan merupakan indikator untuk mengukur kemampuan waduk kembali ke keadaan “memuaskan” (*Satisfactory*) dari keadaan “gagal” (*fail*). Dalam arti semakin cepat waduk kembali pada keadaan memuaskan maka kegagalan semakin kecil.

Untuk menghitung masa transisi dari keadaan “gagal” menjadi keadaan “memuaskan” dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$W_t = \begin{cases} 1 & \text{untuk } R_t \geq D_t \text{ dan } R_{t-1} < D_t \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots\dots\dots 3-30$$

Kelentingan dalam jangka panjang untuk kedua definisi tersebut di atas dapat dihitung dengan rumus :

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t \quad \dots\dots\dots 3-31$$



Jangka waktu rata-rata waduk dalam keadaan “gagal” secara kontinyu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T_{gagal} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - Z_i)}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots 3-32$$

Atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E[T_{gagal}] = \frac{1 - \alpha_1}{\rho} \dots\dots\dots 3-33$$

Unjuk kerja kelentingan juga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma = \frac{1}{E[T_{gagal}]} \text{ atau } \gamma = \frac{1}{T_{gagal}} \dots\dots\dots 3-34$$

### 3). Kerawanan (*Vulnerability*)

Untuk mengukur seberapa besar (seberapa rawan) suatu kegagalan yang terjadi, sehingga tingkat kerawanan dapat ditentukan dengan rumus:

$$DEF_t = \begin{cases} D_t - R_t, & \text{jika } R_t < D_t \\ 0 & \text{jika } R_t \geq D_t \end{cases} \dots\dots\dots 3-35$$

Kerawanan dapat didefinisikan dengan berbagai penafsiran antara lain adalah:

- Nilai rata-rata “deficit-ratio” ( $V_1$ )  
Merupakan rata-rata persentase kekurangan dimana terjadi kegagalan pada bulan-bulan tertentu.

$$v_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{DEF_i}{D_i}}{\sum_{i=1}^n W_i} \dots\dots\dots 3-36$$

- Nilai maksimum “*deficit-ratio*” ( $V_2$ )

Merupakan nilai maksimum dari persentase kekurangan di mana terjadi kegagalan pada bulan-bulan tertentu.

$$v_2 = \max_t \left\{ \frac{DEF_t}{D_t} \right\} \dots\dots\dots 3-37$$

- Nilai maksimum “*deficit*” ( $V_3$ )

Merupakan nilai maksimum kekurangan dari terjadinya kegagalan pada bulan-bulan tertentu.

$$v_3 = \max_t \{DEF_t\} \dots\dots\dots 3-38$$

Di mana :

$R_t$  = pelepasan pada periode  $t$

$D_t$  = kebutuhan air pada periode  $t$

$Z_t$  = variabel keandalan

$n$  = jangka waktu pengoperasian

$\sum_{t=1}^n Z_t$  = jumlah total waktu dimana waduk mampu memenuhi *demand*-nya

$\sum_{t=1}^n (1-Z_t)$  = jumlah total waktu dimana waduk gagal

$\alpha$  = unjuk kerja keandalan

$\rho$  = probabilitas (rata-rata frekuensi)

$T_{\text{gagal}}$  = lamanya waduk berada dalam keadaan gagal

$E$  = operator “*expectation*”

$\gamma$  = unjuk kerja kelentingan

$DEF_t$  = variabel kekurangan (*deficit*) pada periode  $t$

$V_1$  = nilai rata-rata “*deficit-ratio*”

$V_2$  = nilai maksimum “*deficit ratio*”

$V_3$  = nilai maksimum “*deficit*”

## **BAB IV METODOLOGI**

### **4.1. Deskripsi Permasalahan**

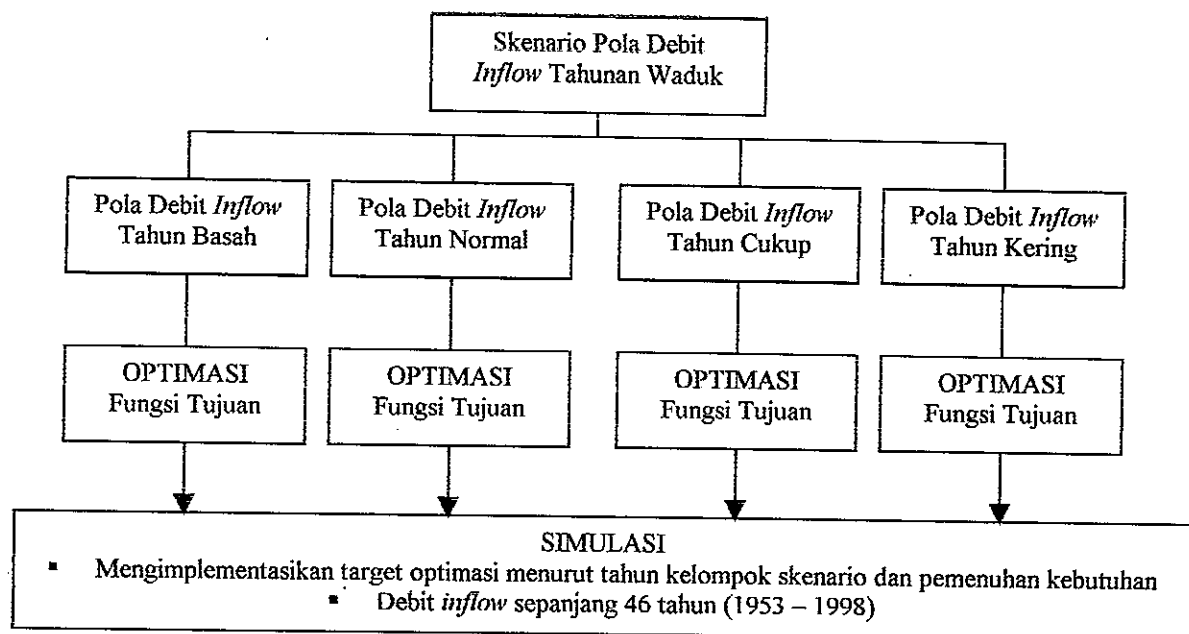
Operasi Waduk Kedung Ombo pada prinsipnya memprioritaskan pertama untuk pelayanan air baku sebesar 6.150 l/dt (konstan sepanjang tahun) dan kedua untuk pelayanan kebutuhan air irigasi menurut pola tanam sistem golongan I dan II. Suplesi air dari waduk dilakukan secara pelepasan melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi jika kondisi tampungan waduk berada pada elevasi  $\geq + 67,50$  m sampai dengan + 90, atau melalui *outlet* turbin dan *outlet* irigasi harus ditutup jika kondisi tampungan waduk berada pada elevasi  $< 67,50$  m. Hal mana berarti suplesi air mengutamakan pelepasan melalui *outlet* turbin dari pada pelepasan melalui *outlet* irigasi dengan maksud agar pelepasan air dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pembangkit energi listrik. Meskipun demikian sistem pendistribusian pelepasan air waduk memprioritaskan untuk keperluan air baku dan air irigasi menurut golongan.

Berdasarkan indikator dari studi-studi pengoperasian Waduk Kedung Ombo yang ada, maka masalah mengoptimalkan pengoperasian waduk dapat dilakukan secara berkesinambungan terhadap beberapa jenis analisis yang berbeda, agar didapatkan hasil-hasil optimum. Dengan versi yang berbeda tersebut, analisis pola pengoperasian waduk ditujukan pada permasalahan yang menyangkut “*minimize deficit*” antara lain dengan “MKAI” dan “MPPW” serta “*maximize*” dengan “memaksimumkan pendapatan waduk” sebagaimana analisis terdahulu (Tarigan, 2001). Dengan demikian indikator pola pengoperasian-serta keandalan optimum dari Waduk Kedung Ombo juga dilakukan secara berkesinambungan.

### **4.2. Pendekatan Masalah**

Pola Pengoperasian Waduk (*Reservoir Operating Policy*) pada Waduk Kedung Ombo dapat dilakukan dengan Pola Pengoperasian Baku (*Standard Operating Policy*) atau *Rule Curve*, namun hasilnya kurang optimum. Sebagai upaya pemenuhan kebutuhan daerah irigasi yang lebih optimum dilakukan dengan Teknik Optimasi dan Teknik Simulasi sebagai koreksi dari hasil optimum yang diperoleh.

Sebelum analisis dengan Teknik Optimasi dan Teknik Simulasi dilakukan analisis keabsahan data pada “uji ketidakadaan trend” rangkaian data debit *inflow* dengan Koefisien Korelasi Peringkat *Spearman* dan “uji kestabilan, varian” serta “uji kestabilan nilai rata-rata”. Hal mana dilakukan sebagai cek ulang keberadaan data yang sama dengan penelitian terdahulu (Indra Karya, 1993 dan Tarigan., 2001). Debit *inflow* bulanan rata-rata untuk masing-masing kelompok debit *inflow* tahunan akan menjadi masukan analisis optimasi Fungsi Tujuan (*Objective Function*) yang dilakukan sebagaimana gambar 4-1 berikut.

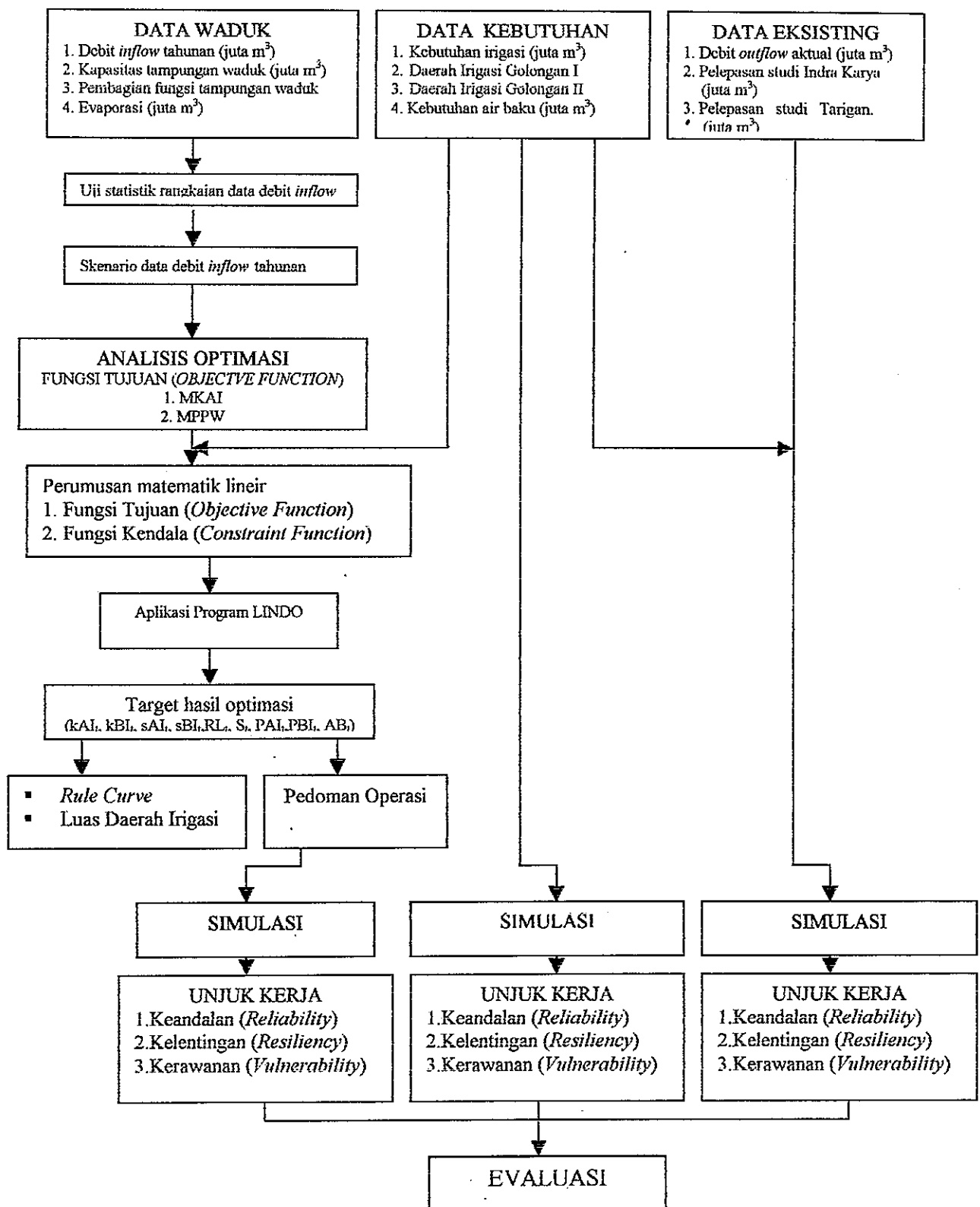


Gambar 4-1 : Skema Pengelompokkan Debit *Inflow* Untuk Optimasi dan Simulasi

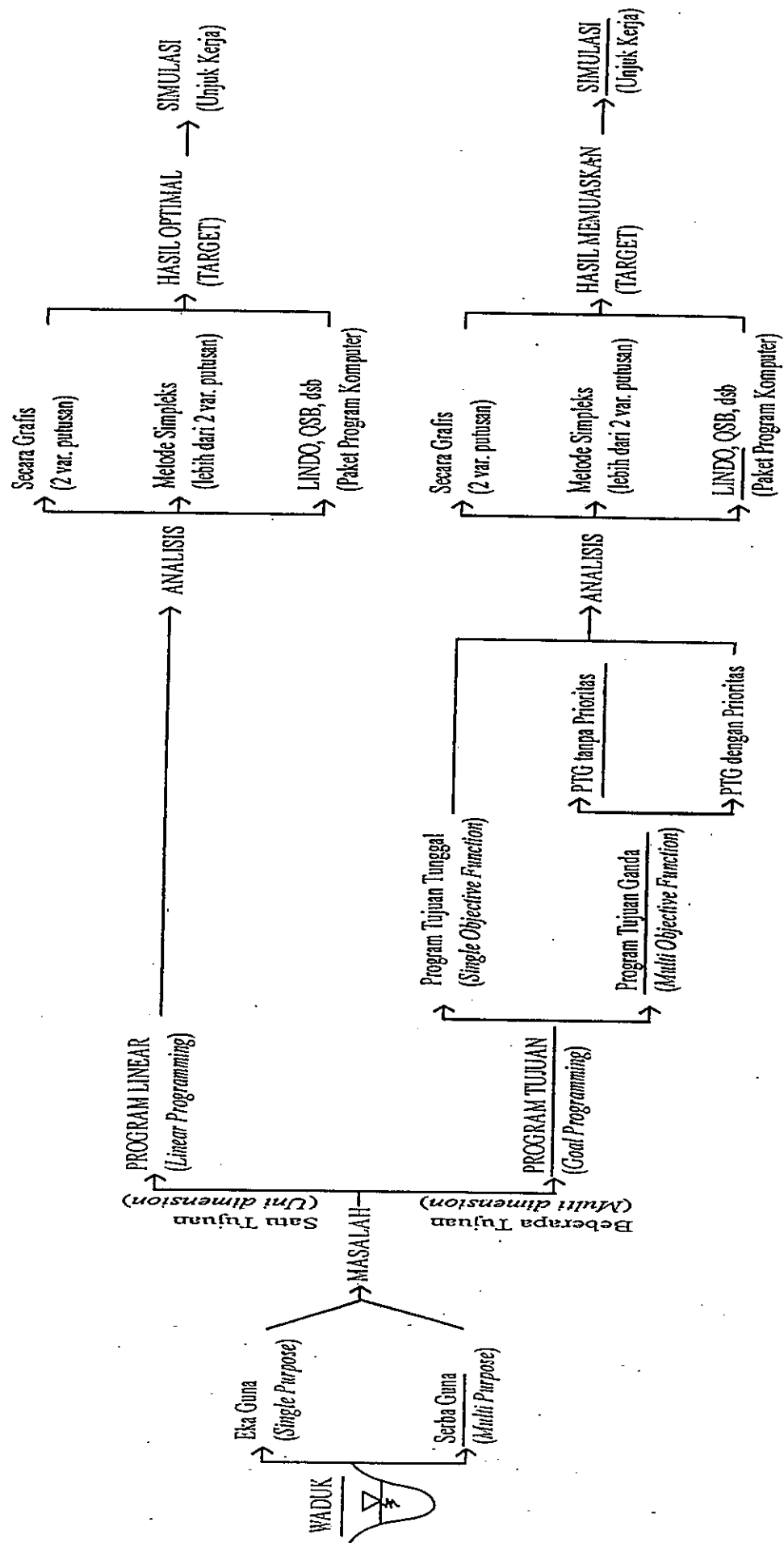
Ada beberapa metode untuk optimasi pemanfaatan sumber daya air (termasuk pemanfaatan air Waduk Kedung Ombo), salah satunya adalah metode Program Linear. Program Linear dibentuk dari dua fungsi utama yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala. Program Linear bertujuan untuk mencapai hasil minimum atau maksimum dari fungsi tujuan dan menggambarkan hasil optimal dari solusi permasalahan tersebut di atas. Pada kondisi ketersediaan sumberdaya dan persyaratan yang terbatas, Teknik Optimasi dengan penerapan Program Linear Metode Simplex dan penggunaan komputer Paket Program LINDO dapat diharapkan sebagai solusi

permasalahan. Untuk pengoptimalan pengoperasian Waduk Kedung Ombo dalam mengatasi keterbatasan pemenuhan kebutuhan dilakukan dengan “MKAI” dan “MPPW” terhadap target yang berlaku, hal mana dapat dengan menggunakan pendekatan Program Tujuan. Analisis Metode Simplek biasa hanya bergerak pada analisis masalah-masalah bertujuan tunggal, sedangkan analisis Program Tujuan merupakan modifikasi dari Metode Simplek yang bukan saja dapat bergerak pada analisis masalah-masalah bertujuan tunggal, tetapi juga dapat digunakan untuk masalah-masalah tujuan ganda.

Hasil optimum dari masing-masing Fungsi Tujuan akan mempengaruhi target pengoperasian waduk sebagai pedoman operasi yang ditunjukkan oleh unjuk kerja pengoperasian yang dihasilkan. Unjuk Kerja pengoperasian waduk tersebut akan dievaluasi dengan metode simulasi sebagai koreksi hasil optimasi dan keberadaannya terhadap unjuk kerja data *existing*. Sebagai gambaran dari pendekatan yang digunakan dapat ditunjukkan pada Gambar 4-2 dan Gambar 4-3 berikut.



Gambar 4-2: Bagan Alir Metodologi



Gambar 4-3 : Bagan Alir Pendekatan Masalah

### 4.3. Analisis Optimasi

Teknik optimasi dengan Program Linear diharapkan dapat menghasilkan suatu pola pengoperasian waduk yang optimal. Pemograman Linear adalah suatu model matematis untuk menggambarkan masalah yang dihadapi (*Frederich S. Hilleir*, 1994), untuk itu perlu dibuat rencana kegiatan-kegiatan (model matematis yang sesuai) agar diperoleh hasil yang optimal dari setiap jenis Fungsi Tujuan. Dalam masalah "MKAI" dan "MPPW" perumusan model matematis diuraikan atas dasar pelepasan air untuk kebutuhan air baku dan air irigasi menurut golongan pola tanam. Perumusan persamaan matematik analisis optimasi operasi Waduk Kedung Ombo pada penelitian ini menerapkan beberapa asumsi, yaitu :

- 1). Debit *inflow* historis diskenario menjadi 4 (empat) kelompok pola debit tahunan yaitu : Tahun Basah, Tahun Normal, Tahun Cukup dan Tahun Kering (Indra Karya, 1993). Debit rata-rata bulanan masing-masing kelompok yang diperoleh diasumsikan deterministik.
- 2). Kehilangan air bulanan (evaporasi) mengikuti evaporasi berdasarkan data Tabel 2-8 selama 1 (satu) tahun operasi dan diasumsikan deterministik.
- 3). Volume tampungan awal tahun pengoperasian dan volume tampungan akhir tahun pengoperasian diasumsikan sama,  $S_0 = S_{12}$  (*Wurbs*, 1996).
- 4). Tampungan waduk di akhir bulan tidak diperkenankan kurang dari kapasitas minimum dan melebihi kapasitas maksimum. Jika air masuk ke waduk melebihi kapasitas maksimum, kelebihan tersebut akan dilimpaskan melalui bangunan pelimpah (*spillway*).
- 5). Air yang melimpas melalui bangunan pelimpah tidak diperhitungkan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan atau diasumsikan sebagai kelebihan (*Martsanto*, 1992)
- 6). Debit yang dikeluarkan waduk diasumsikan untuk kebutuhan air baku dan air irigasi menurut sistem golongan (golongan I dan II), jika debit keluaran tersebut melebihi kapasitas pengaliran pipa tekan maksimum, kelebihan tersebut dialirkan melalui *outlet* irigasi.
- 7). Target suplesi air irigasi sesuai dengan kebutuhan air maksimum dengan pola tanam padi-padi-palawija di daerah lokasi.
- 8). Kebutuhan air baku diasumsikan konstan sepanjang tahun



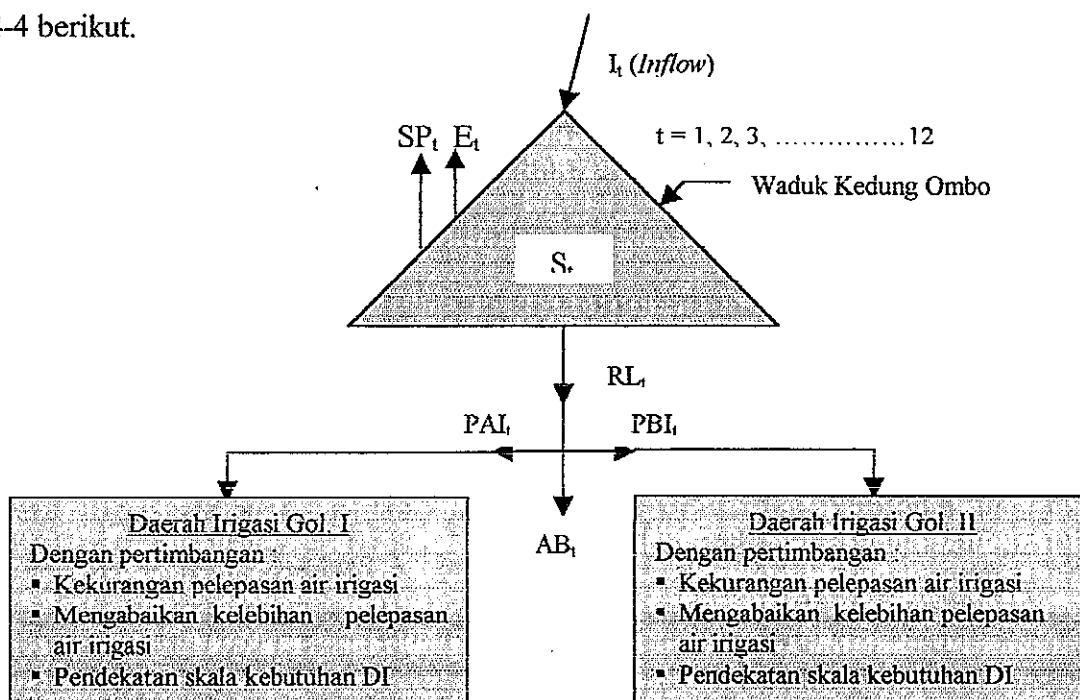
- 9). Total kebutuhan air irigasi dalam satu periode tanam merupakan penjumlahan kebutuhan air irigasi dengan skala yang berbeda setiap bulannya.

#### 4.3.1. Rumusan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MKAI”

Tujuan atau sasaran pengoperasian waduk adalah untuk mendapatkan suatu pola operasi optimum agar kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi dengan meminimumkan kekurangan pelepasan air irigasi sesuai dengan pola tanam sistem golongan I dan golongan II, disamping kebutuhan air baku terpenuhi sebesar 15,94 juta  $m^3$  konstan sepanjang tahun. Fungsi Tujuan (*Objective Function*) dilakukan berdasarkan kelompok skenario debit *inflow* waduk sebagai berikut :

- MKAI dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Basah”.
- MKAI dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Normal”.
- MKAI dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Cukup”.
- MKAI dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Kering”.

Perumusan model secara rinci sesuai dengan sistem pengoperasian dalam pemanfaatan ketersediaan air waduk, secara sederhana dapat disajikan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4-4 : Konfigurasi Sistem Pengoperasian Waduk “MKAI”

Perumusan persamaan matematik untuk “MKAI” terhadap kebutuhan air irigasi yang harus dipenuhi dari Waduk Kedung Ombo adalah sebagai berikut :

▪ **Fungsi Tujuan (*Objective Function*)**

$$Z_{\min.} = \sum_{t=1}^{t=12} (kAI_t^- + kBI_t^-) \dots\dots\dots 4-1$$

$t = 1, \dots\dots\dots, 12$

Di mana :

$Z_{\min.}$  = total kekurangan air irigasi yang diminimumkan

$kAI_t^-$  = kekurangan pelepasan air irigasi golongan I bulan ke-t  
(KAI<sub>t</sub> pada aplikasi program LINDO)

$kBI_t^-$  = kekurangan pelepasan air irigasi golongan II bulan ke-t  
(KBI<sub>t</sub> pada aplikasi program LINDO)

▪ **Fungsi Kendala (*Constraint Function*)**

Fungsi Kendala merupakan batasan-batasan dalam pengoperasian waduk yang diekspresikan dalam bentuk persamaan-persamaan matematik. Beberapa persamaan matematik fungsi kendala dari sistem pengoperasian Waduk Kedung Ombo adalah sebagai berikut :

1) Persamaan matematik kesetimbangan air waduk tiap kelompok tahun skenario

$$I_t = RL_t + E_t + SP_t + S_t - S_{t-1} \Rightarrow RL_t + SP_t + S_t - S_{t-1} = I_t - E_t \dots\dots\dots 4-2$$

Kondisi volume tampungan awal sama dengan volume tampungan akhir waduk, dengan rumusan persamaan adalah sebagai berikut :

$$S_0 = S_{12} \Rightarrow S_0 - S_{12} = 0 \dots\dots\dots 4-3$$

Di mana :

$I_t$  = debit *inflow* waduk menurut tahun kelompok skenario pada bulan ke-t

$RL_t$  = total pelepasan air waduk bulan ke-t

$E_t$  = evaporasi waduk bulan ke-t

$SP_t$  = limpasan waduk bulan ke-t

$S_t$  = volume tampungan waduk akhir bulan ke-t

$S_{t-1}$  = volume tampungan waduk awal bulan ke-t

$S_0$  = volume tampungan waduk pada awal tahun

$S_{12}$  = volume tampungan waduk pada akhir tahun

- 2). Pada kondisi elevasi  $\geq + 67,50$  m sampai elevasi  $+ 90$  m (setara dengan volume tampungan antara 18,50 juta  $m^3$  s/d 634,6 juta  $m^3$ ), dengan demikian kondisi tampungan waduk pada MOL irigasi  $\leq S_t \leq$  kapasitas maksimal waduk.

Total pelepasan waduk dan kapasitas waduk maksimal adalah :

$$RL_t = PAI_t + PBI_t + AB_t \Rightarrow RL_t - PAI_t - PBI_t - AB_t = 0 \dots\dots\dots 4-4$$

$$S_t \leq 634,6 \dots\dots\dots 4-5$$

Di mana :

$PAI_t$  = pelepasan air irigasi golongan I bulan ke-t

$PBI_t$  = pelepasan air irigasi golongan II bulan ke-t

$AB_t$  = pelepasan air baku bulan ke-t (konstan sepanjang tahun)

- 3). Pelepasan air maksimum pada saluran pipa tekan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$RL_t \leq 227,82 \dots\dots\dots 4-6$$

- 4). Kebutuhan air baku diasumsikan konstan sepanjang tahun dengan pelepasan sebesar 6.150 l/dt (6,15  $m^3$ /dt) atau setara dengan 15,94 juta  $m^3$ /bulan. Rumusan persamaan matematikanya adalah :

$$AB_t = 15,94 \dots\dots\dots 4-7$$

- 5). Kekurangan air irigasi diasumsikan bahwa kebutuhan air irigasi lebih besar dari pada pelepasan air irigasi, dan kelebihan air irigasi diasumsikan bahwa pelepasan lebih besar dari pada kebutuhan dalam hal ini dapat tidak dipermasalahkan (diabaikan). Oleh karena itu untuk meminimumkan kekurangan pelepasan air irigasi terhadap besarnya target kebutuhan irigasi, model persamaan matematisnya dapat direkomendasikan sebagai berikut :

$$kAI_t^- = bAI_t - PAI_t \Rightarrow PAI_t + kAI_t^- = bAI_t \dots\dots\dots 4-8$$

$$kBI_t^- = bBI_t - PBI_t \Rightarrow PBI_t + kBI_t^- = bBI_t \dots\dots\dots 4-9$$

Di mana :

$bAI_t$  = target kebutuhan air irigasi golongan I yang harus dipenuhi dari waduk bulan ke-t

$bBI_t$  = target kebutuhan air irigasi golongan II yang harus dipenuhi dari waduk bulan ke-t

- 6). Kebutuhan air irigasi berbeda untuk setiap bulan, sedang luas lahan sama. Untuk mengatasi kesalahan pada skala kebutuhan direkomendasikan pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{bAI_t}{\sum_{t=1}^{n=4} bAI_t} \left( \sum_{t=1}^{n=4} PAI_t \right) \leq \sum_{t=1}^{n=4} PAI_t \quad \dots\dots\dots 4-10a$$

$$\frac{bBI_t}{\sum_{t=1}^{n=4} bBI_t} \left( \sum_{t=1}^{n=4} PBI_t \right) \leq \sum_{t=1}^{n=4} PBI_t \quad \dots\dots\dots 4-10b$$

- 7). Untuk mengantisipasi kelebihan debit *inflow* ke waduk, maka program mengijinkan adanya limpasan melalui bangunan pelimpah.

$$SP_t \geq 0 \quad \dots\dots\dots 4-11$$

- 8). Semua variabel putusan tidak boleh kurang dari nol atau negatif

$$kAI_t^-, kBI_t^- \geq 0 \quad \dots\dots\dots 4-12a$$

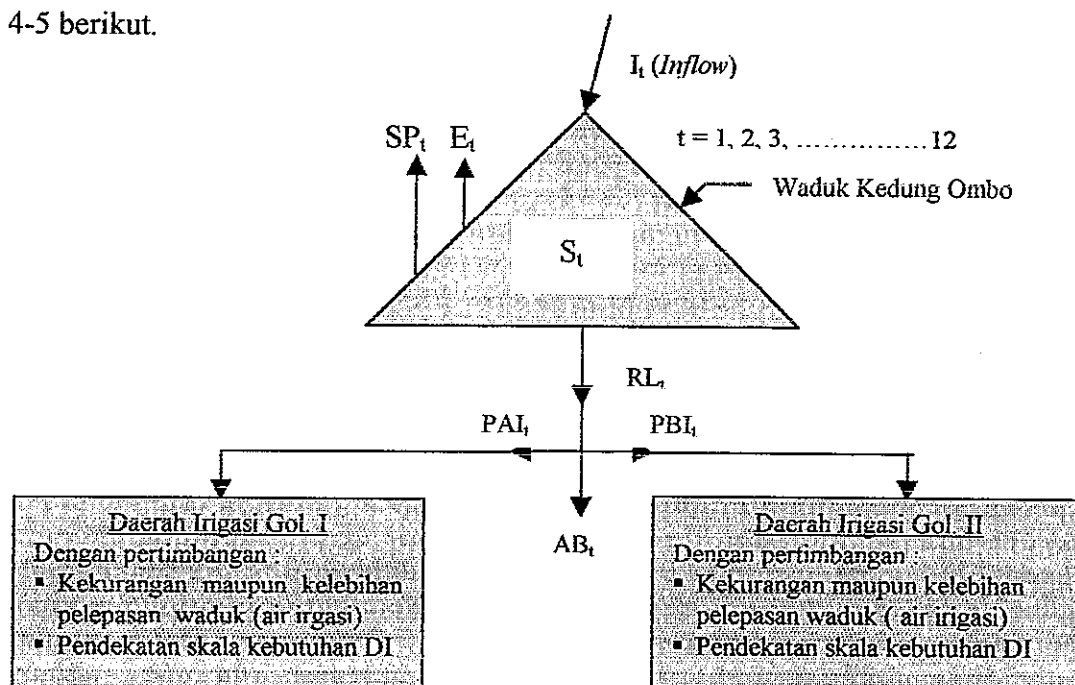
$$PAI_t, PBI_t, S_t, RL_t, AB_t, SP_t \geq 0 \quad \dots\dots\dots 4-12c$$

#### 4.3.2. Rumusan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) MPPW

Tujuan atau sasaran pengoperasian waduk adalah untuk mendapatkan suatu pola oprasi optimum agar pelepasan air waduk dapat memenuhi kebutuhan air baku dan air irigasi. Kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup> konstan sepanjang tahun, maka upaya untuk terpenuhinya kebutuhan air irigasi adalah dengan meminimumkan penyimpangan pelepasan waduk dengan mempertimbangkan penyimpangan kekurangan dan kelebihan pada pelepasan air irigasi menurut sistem pola tanam golongan I dan golongan II. Demikian juga bahwa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) dilakukan berdasarkan skenario kelompok debit *inflow* waduk sebagai berikut :

- MPPW dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Basah”.
- MPPW dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Normal”.
- MPPW dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Cukup”.
- MPPW dengan kelompok debit *inflow* “Tahun Kering”.

Perumusan model secara rinci sesuai dengan sistem pengoperasian dalam pemanfaatan ketersediaan air waduk, secara sederhana dapat disajikan pada Gambar 4-5 berikut.



Gambar 4-5 : Konfigurasi Sistem Pengoperasian Waduk “MPPW”

Perumusan persamaan matematik untuk “MPPW” terhadap kebutuhan air irigasi yang harus dipenuhi dari Waduk Kedung Ombo adalah sebagai berikut :

#### ▪ Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Untuk meminimumkan penyimpangan pelepasan air Waduk Kedung Ombo dirumuskan dalam bentuk fungsi tujuan sebagai berikut :

$$Z_{\min} = \sum_{t=1}^{12} (sAI_t^- + sBI_t^-) + \sum_{t=1}^{t=12} (sAI_t^+ + sBI_t^+) \dots\dots\dots 4-13$$

$t = 1, 2, \dots\dots\dots, 12$

Di mana :

$Z_{\min}$  = besar penyimpangan suplesi air yang diminimumkan

$sAI_t^-$  = penyimpangan (kekurangan) suplesi air irigasi golongan I bulan ke-t  
(SAIt,1 pada aplikasi program LINDO)

$sAI_t^+$  = penyimpangan (kelebihan) suplesi air irigasi golongan I bulan ke-t  
(SAIt,2 pada aplikasi Program LINDO)

$sBI_t^-$  = penyimpangan (kekurangan) suplesi air irigasi golongan II bulan ke-t  
(SBIt,1 pada aplikasi program LINDO)

$sBI_t^+$  = penyimpangan (kelebihan) suplesi air irigasi golongan II bulan ke-t  
(SBIt,2 pada aplikasi program LINDO)

#### ▪ Fungsi Kendala (*Constraint Function*)

Fungsi Kendala merupakan batasan-batasan dalam pengoperasian waduk yang diekspresikan dalam bentuk persamaan-persamaan matematik. Beberapa persamaan matematik fungsi kendala dari sistem pengoperasian Waduk Kedung Ombo adalah sebagai berikut :

- 1) Persamaan matematik kesetimbangan air waduk tiap kelompok tahun skenario

$$I_t = RL_t + E_t + SP_t + S_t - S_{t-1} \Rightarrow RL_t + SP_t + S_t - S_{t-1} = I_t - E_t$$

Kondisi volume tampungan awal sama dengan volume tampungan akhir waduk, dengan rumusan persamaan adalah sebagai berikut :

$$S_0 = S_{12} \Rightarrow S_0 - S_{12} = 0$$

- 2). Pada kondisi elevasi  $\geq + 67,50$  m sampai elevasi  $+ 90$  m (setara dengan volume tampungan antara  $18,50$  juta  $m^3$  s/d  $634,6$  juta  $m^3$ ), dengan demikian kondisi tampungan waduk pada MOL irigasi  $\leq S_t \leq$  kapasitas maksimal waduk.

Total pelepasan waduk dan kapasitas waduk maksimal adalah :

$$RL_t = PAI_t + PBI_t + AB_t \Rightarrow RL_t - PAI_t - PBI_t - AB_t = 0$$

$$S_t \leq 634,6$$

- 3). Pelepasan air maksimum pada saluran pipa tekan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$RL_t \leq 227,82$$

- 4). Kebutuhan air baku diasumsikan konstan sepanjang tahun dengan pelepasan sebesar 6.150 l/dt (6,15 m<sup>3</sup>/dt) atau setara dengan 15,94 juta m<sup>3</sup>/bulan. Rumusan persamaan matematikanya adalah :

$$AB_t = 15,94$$

- 5). Penyimpangan pelepasan waduk diasumsikan bahwa target/kebutuhan air irigasi lebih besar dari pada pelepasan air irigasi, hal mana dinyatakan sebagai penyimpangan negatif (kekurangan pelepasan air irigasi). Atau apabila pelepasan air irigasi lebih besar dari pada target/kebutuhan air irigasi dinyatakan sebagai penyimpangan positif (kelebihan pelepasan air irigasi). Dalam hal untuk kekurangan pelepasan air irigasi maupun kelebihan pelepasan air irigasi tidak dapat diterima sehingga harus dicari keseimbangan antara keduanya (harus diperhitungkan). Karena itu untuk meminimumkan penyimpangan pelepasan air waduk terhadap target kebutuhan irigasi (di mana pelepasan air baku konstan), maka model persamaan matematisnya dapat digunakan sebagai berikut.

- Untuk target/kebutuhan air irigasi > pelepasan air irigasi :

$$sAI_t^- = bAI_t - PAI_t \Rightarrow PAI_t + sAI_t^- = bAI_t$$

$$sAI_t^+ = PAI_t - bAI_t \Rightarrow PAI_t - sAI_t^+ = bAI_t$$

$$\Rightarrow PAI_t + sAI_t^- - sAI_t^+ = bAI_t, \dots\dots\dots 4-14a$$

- Untuk pelepasan air irigasi > target/kebutuhan air irigasi :

$$sBI_t^- = bBI_t - PBI_t \Rightarrow PBI_t + sBI_t^- = bBI_t$$

$$sBI_t^+ = PBI_t - bBI_t \Rightarrow PBI_t - sBI_t^+ = bBI_t$$

$$PBI_t + sBI_t^- - sBI_t^+ = bBI_t, \dots\dots\dots 4-14b$$

- 6). Kebutuhan air irigasi berbeda untuk setiap bulan, sedang luas lahan sama. Untuk mengatasi kesalahan pada skala kebutuhan direkomendasikan pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{bAI_t}{\sum_{t=1}^{n=4} bAI_t} \left( \sum_{t=1}^{n=4} PAI_t \right) \leq \sum_{t=1}^{n=4} PAI_t$$

$$\frac{bBI_t}{\sum_{t=1}^{n=4} bBI_t} \left( \sum_{t=1}^{n=4} PBI_t \right) \leq \sum_{t=1}^{n=4} PBI_t$$

- 8). Untuk mengantisipasi kelebihan debit *inflow* ke waduk, maka program mengijinkan adanya limpasan melalui bangunan pelimpah.

$$SP_t \geq 0$$

- 9). Semua variabel putusan tidak boleh kurang dari nol atau negatif

$$sAI_t^-, sAI_t^+, sBI_t^-, sBI_t^+ \geq 0 \dots\dots\dots 4-15$$

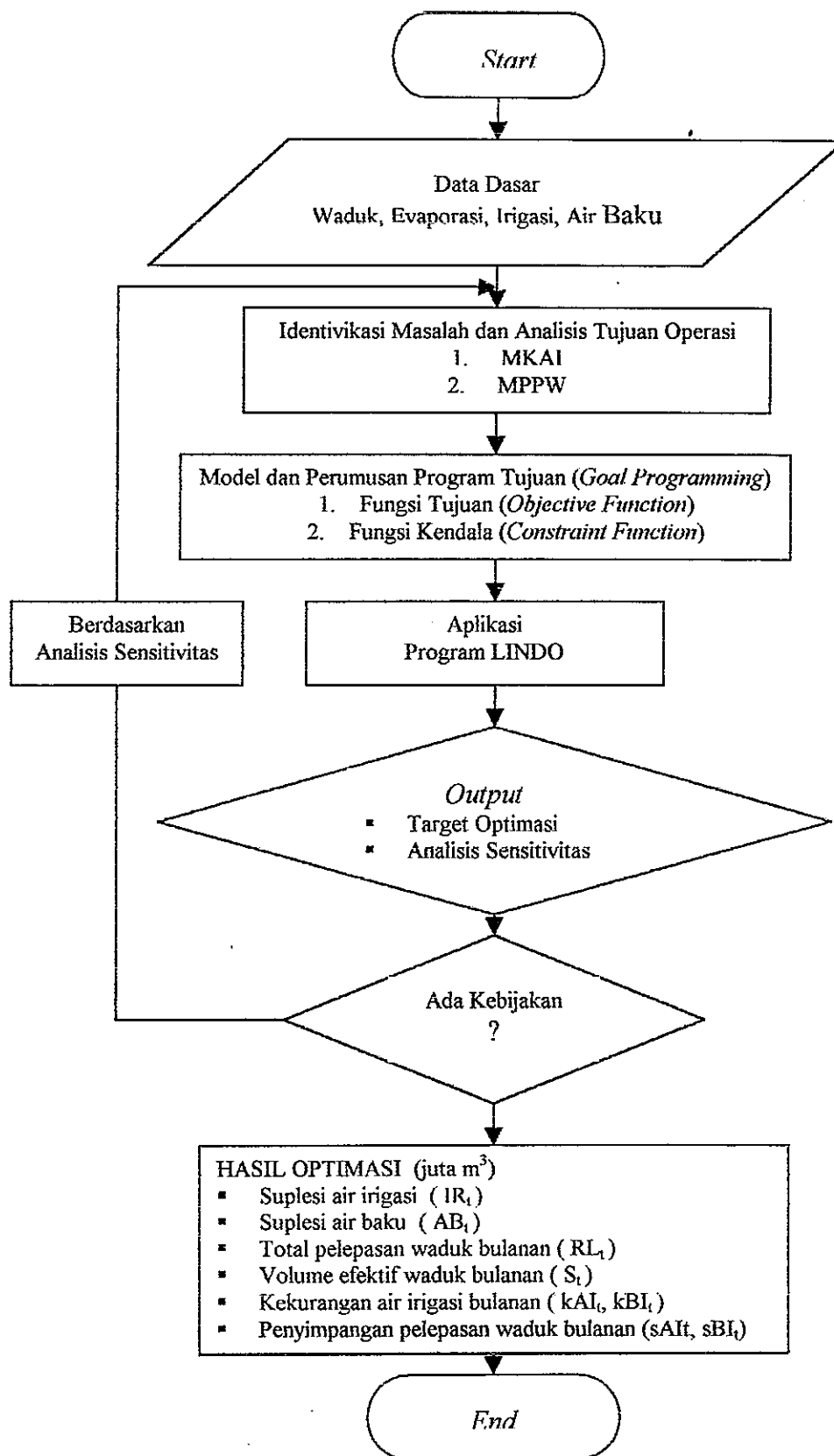
$$PAI_t, PBI_t, S_t, RL_t, AB_t, SP_t \geq 0$$

Sebelum paket Program LINDO diaplikasikan, persamaan-persamaan bentuk linear sebagai masukan harus disiapkan agar dapat diuraikan menjadi persamaan-persamaan baku linear. Dari sistim pelepasan air waduk diketahui bahwa pelepasan air untuk pemenuhan kebutuhan air baku adalah konstan sepanjang tahun, sedang total pelepasan (air baku dan irigasi) merupakan pelepasan melalui pipa tekan dengan batasan kapasitas maksimum yang ada. Dengan demikian persamaan matematik dapat dirumuskan secara sederhana berdasarkan pelepasan air irigasi menurut golongan pola tanam (Golongan I dan II). Beberapa bentuk rumusan persamaan matematik yang dapat diaplikasikan dari sistem Waduk Kedung Ombo akan merupakan input dari analisis paket Program LINDO.

Secara rinci persamaan-persamaan matematik bentuk linear yang dirumuskan sebagai *input* pada aplikasi paket Program LINDO menurut skenario kelompok debit *inflow* (Tahun Basah, Tahun Normal, Tahun Cukup dan Tahun Kering) dapat dilihat pada Lampiran B, namun contoh keluaran Paket Program LINDO ditunjukkan pada Lampiran I.

Proses analisis optimasi adalah sebagaimana Gambar 4-6 berikut.





Gambar 4-6 : Bagan Alir Proses Optimasi

#### 4.4. Analisis Simulasi

Simulasi pengoperasian waduk dilakukan untuk mengevaluasi perilaku sistem waduk dan unjuk kerja pengoperasian terhadap hasil optimasi, pelepasan pola pengoperasian baku (SOP), pelepasan hasil studi Indra Karya (1993), debit *outflow* aktual 9 tahun terakhir (1990 – 1998)) dan pelepasan hasil optimasi terdahulu (Tarigan, 2001). Simulasi pengoperasian Waduk Kedung Ombo dilakukan dengan periode waktu bulanan, sedang pelepasan air waduk ditargetkan guna keperluan air baku, irigasi di mana total pelepasan dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan syarat total pelepasan tidak melebihi kapasitas pengaliran turbin maksimum atau setara dengan 160,19 juta m<sup>3</sup> sebagaimana ketentuan terdahulu (Indra Karya, 1993). Jika total pelepasan > 160,19 juta m<sup>3</sup> sisanya diasumsikan melalui pelepasan (*outlet*) irigasi.

Dalam proses simulasi pengoperasian waduk dilakukan beberapa asumsi/pendekatan :

- 1). Simulasi dilakukan sepanjang 46 tahun menurut urutan tahun debit *inflow* (1953 – 1998) dan 9 tahun terakhir debit *inflow* berdasarkan tahun data debit *outflow* terakhir (1990 – 1998).
- 2). Awal pengoperasian pada bulan Oktober, sesuai dengan pola tanam di daerah irigasi (padi-padi-palawija).
- 3). Tampungan pada awal pengoperasian waduk dianggap penuh (McMahon dan Mein, 1978)
- 4). Kehilangan air waduk bulanan (evaporasi) merupakan fungsi dari luas genangan waduk dengan data ketinggian evaporasi yang ada (Tabel 2-8).
- 5). Pelepasan simulasi berdasarkan kondisi kesetimbangan air waduk di mana volume tampungan akhir waduk tidak kurang dari kapasitas minimum dan tidak melebihi kapasitas maksimum tampungan waduk. Hal mana merupakan pendekatan pemenuhan target pelepasan optimasi/eksisting/kebutuhan yang dirumuskan sebagai berikut.

$$RL_t = \begin{cases} Inflow + S_{awal} - \text{evaporasi} - S_{maks} & \text{jika } Inflow + S_{awal} - \text{evaporasi} - \text{target} \geq S_{maks} \\ \text{Target atau kebutuhan (Demand),} & \text{jika } S_{min} \leq Inflow + S_{awal} - \text{evaporasi} - \text{target} \leq S_{maks} \\ Inflow + S_{awal} - \text{evaporasi} - S_{min}, & \text{jika } Inflow + S_{awal} - \text{evaporasi} - \text{target} < S_{min} \end{cases}$$

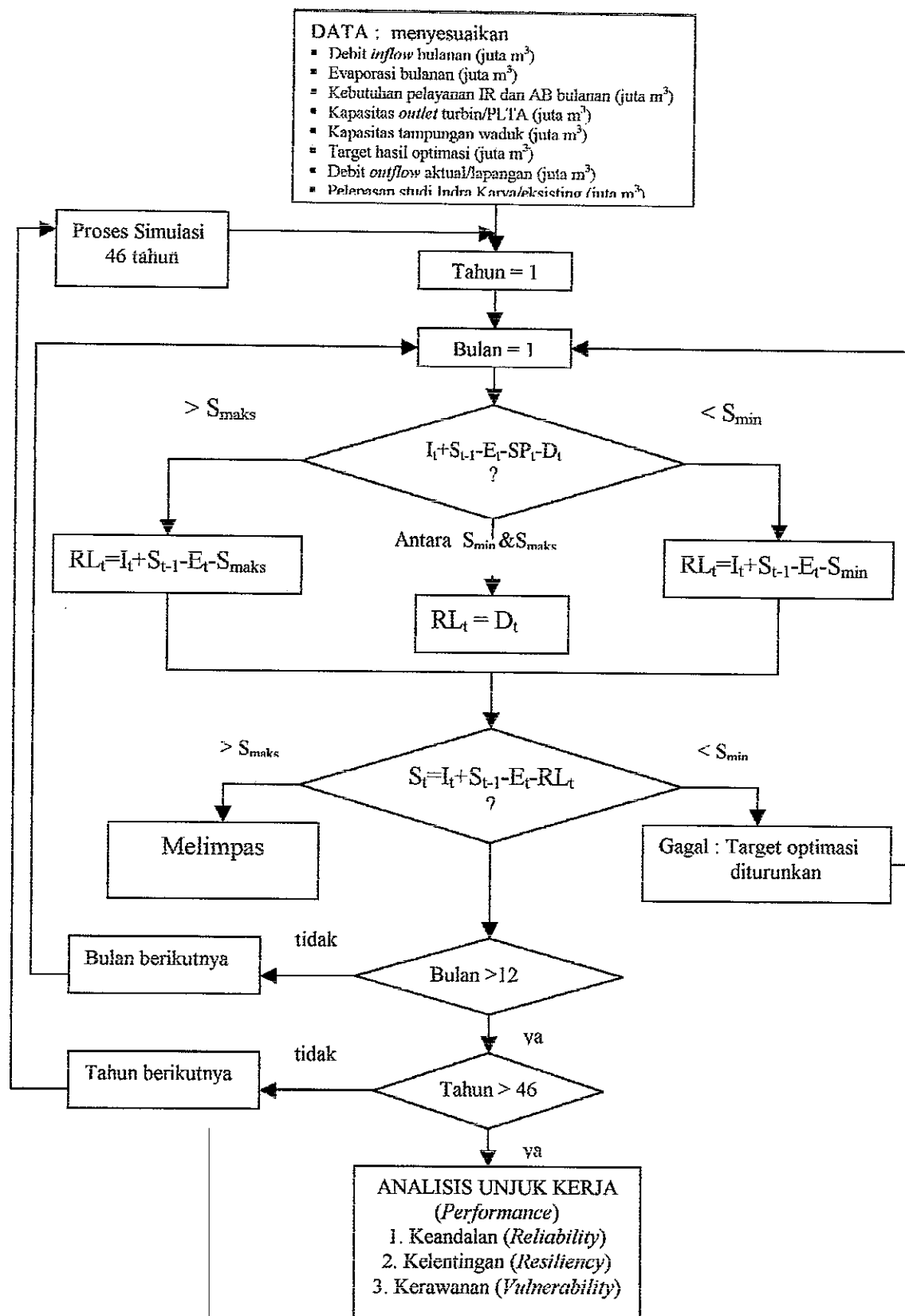
4-16

Hukum kesetimbangan air dan pelepasan waduk dirumuskan sebagai berikut :

$$I_t = RL_t + SP_t + E_t + S_t - S_{t-1} \quad \text{.....} \quad 4-17$$

- 6). Pelepasan PLTA diasumsikan sama dengan pelepasan hasil simulasi di mana tidak melebihi kapasitas turbin maksimum, jika pelepasan simulasi melebihi kapasitas maksimum turbin maka pelepasan PLTA sebesar kapasitas maksimum turbin tersebut atau setara dengan 160,19 juta m<sup>3</sup> dan sisanya untuk keperluan air irigasi.
- 7). Volume tampungan awal sama dengan volume tampungan akhir waduk.
- 8). Tampungan waduk diakhir bulan tidak diperkenankan kurang dari kapasitas minimum (setara dengan 86,34 juta m<sup>3</sup>) dan melebihi kapasitas maksimum (setara dengan 723,10 juta m<sup>3</sup>).
- 9). Limpasan terjadi jika volume tampungan akhir waduk melebihi kapasitas maksimum. Air yang melimpas melalui bangunan pelimpah tidak diperhitungkan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan atau diasumsikan sebagai kelebihan (Martsanto, 1992).
- 10). Luas genangan dan elevasi waduk dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung teoritis waduk (persamaan 2-1, 2-2, 2-3 dan 2-4).
- 11). Kegagalan pengoperasian waduk terjadi apabila total suplesi kebutuhan air yang diijinkan analisis simulasi lebih kecil dari total pelepasan yang di targetkan oleh analisis optimasi/eksisting/total kebutuhan.

Proses analisis simulasi hasil optimasi, simulasi eksisting dan simulasi pemenuhan kebutuhan dapat dilihat pada Gambar 4-7 berikut :



Gambar 4-7 · Bagan Alir Proses Simulasi Waduk

#### 4.5. Analisis Hasil Optimasi dan Simulasi

Beberapa analisis yang dilakukan adalah :

- 1). Analisis terhadap hasil optimasi yaitu berupa :
  - Pola pengoperasian pelepasan air waduk setiap kelompok pola debit *inflow* (Tahun Basah, Tahun Normal, Tahun Cukup dan Tahun Kering) merupakan pelepasan rencana dalam satu tahun pengoperasian waduk.
  - Fluktuasi muka air waduk sebagai “*Rule Curve*” hasil optimasi, menunjukkan periode pengisian dan pengosongan pengoperasian waduk di setiap kelompok debit *inflow* tersebut, di mana elevasi awal pengoperasian waduk sama dengan elevasi akhir pengoperasian waduk dalam satu tahun. Elevasi waduk diperhitungkan atas dasar persamaan karakteristik waduk (persamaan 2-1 dan 2-2) dengan volume tampungan waduk sama dengan volume tampungan minimum ditambah dengan volume efektif hasil optimasi.
  - Luasan daerah irigasi yang dapat diairi atau luas daerah irigasi yang tidak dapat diairi menurut sistem pola tanam yang ada. Luasan daerah irigasi diperhitungkan dengan pola skala kebutuhan air irigasi dan perbandingan antara total pelepasan air irigasi dengan skala kebutuhan air irigasi rata-rata setiap hektar (ha) berdasarkan periode tanam serta jenis tanaman.
- 2). Analisis hasil simulasi dari pelepasan optimum hasil optimasi yaitu berupa :  
Kinerja/unjuk kerja (*performance*) pengoperasian waduk dengan indikator keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*) terhadap pelepasan optimum dari “MKAI” dan “MPPW”.
- 3). Analisis hasil simulasi dari pelepasan eksisting yaitu berupa kinerja/unjuk kerja (*performance*) pengoperasian waduk dengan indikator keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*).
- 4). Evaluasi kinerja/unjuk kerja (*performance*) hasil optimasi dan eksisting.

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Hasil Analisis Data

Analisis terhadap representatifnya rangkaian data difokuskan pada “uji ketidakadaan trend dan analisis stasioner rangkaian data debit *inflow*”.

### 5.1.1. Uji Ketidakadaan Trend Rangkaian Data Debit *Inflow* Waduk

Uji ketidakadaan trend pada data debit rata-rata tahunan ( $\text{m}^3/\text{detik}$ ) sepanjang 46 tahun (Lampiran A) dilakukan perhitungan koefisien korelasi peringkat dari *Spearman* dengan tabel perhitungan sebagaimana Tabel 5-1 berikut.

**Tabel 5-1 : Analisis Koefisien Korelasi Peringkat *Spearman***

No.	Tahun	Peringkat (Ti)	Rangkaian Data	Peringkat (Ri)	dt	dt <sup>2</sup>	No.	Tahun	Peringkat (Ti)	Rangkaian Data	Peringkat (Ri)	dt	dt <sup>2</sup>
1	1953	1	24,91	23	22	484	24	1976	24	24,17	26	2	4
2	1954	2	24,46	25	23	529	25	1977	25	21,25	34	9	81
3	1955	3	29,62	7	4	16	26	1978	26	19,95	36	10	100
4	1956	4	26,83	10	6	36	27	1979	27	25,33	21	-6	36
5	1957	5	26,43	14	9	81	28	1980	28	19,73	39	11	121
6	1958	6	36,07	3	-3	9	29	1981	29	26,19	16	-13	169
7	1959	7	38,97	1	-6	36	30	1982	30	33,43	4	-26	676
8	1960	8	26,57	12	4	16	31	1983	31	5,66	46	15	225
9	1961	9	21,08	35	26	676	32	1984	32	12,06	44	12	144
10	1962	10	22,29	31	21	441	33	1985	33	15,94	43	10	100
11	1963	11	25,40	20	9	81	34	1986	34	11,71	45	11	121
12	1964	12	21,25	33	21	441	35	1987	35	16,97	42	7	49
13	1965	13	23,30	29	16	256	36	1988	36	23,43	28	-8	64
14	1966	14	22,08	32	18	324	37	1989	37	24,93	22	-15	225
15	1967	15	25,79	18	3	9	38	1990	38	19,82	37	-1	1
16	1968	16	32,07	5	-11	121	39	1991	39	25,73	19	-20	400
17	1969	17	24,80	24	7	49	40	1992	40	26,45	13	-27	729
18	1970	18	19,77	38	20	400	41	1993	41	26,38	15	-26	676
19	1971	19	26,76	20	1	1	42	1994	42	23,19	30	-12	144
20	1972	20	18,33	40	20	400	43	1995	43	26,12	17	-26	676
21	1973	21	28,71	9	-12	144	44	1996	44	23,94	27	-17	289
22	1974	22	28,77	8	-14	196	45	1997	45	18,25	41	-4	16
23	1975	23	36,23	2	-21	441	46	1998	46	29,92	6	-40	1600
							Jumlah :						11833

Koefisien korelasi *Spearman* dan nilai uji *t* (persamaan 3-1 dan 3-2) adalah :

$$KPS = 0,27$$

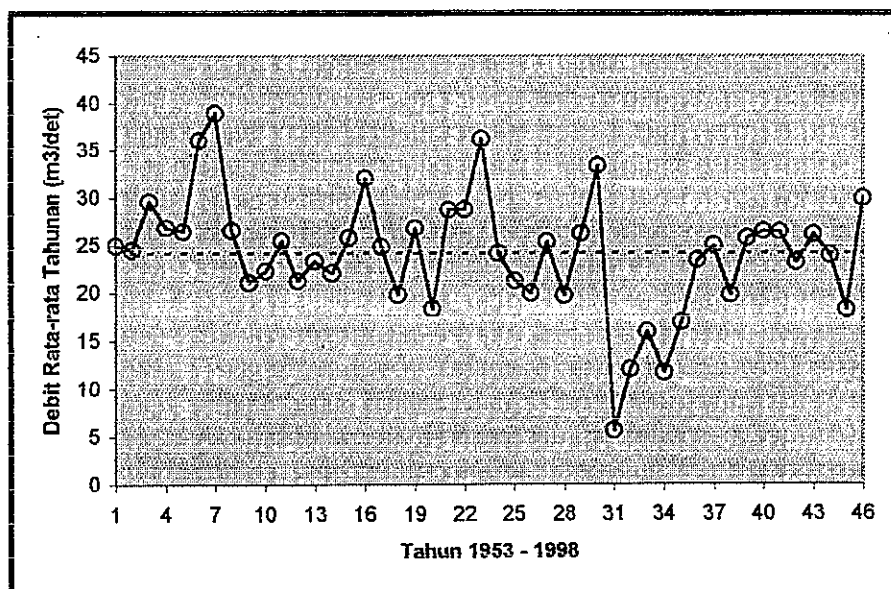
$$t_{hitung} = 1,862$$

$t_{tabel}$  dengan pengujian dua sisi untuk derajat kepercayaan 5 % dan derajat kebebasan  $dk = n - 2 = 44$  adalah :

$$t_{0,975} = \pm 1,96 \text{ (Lampiran C)}$$

Karena :  $- t_{0,975} < t_{hitung} < t_{0,975}$  maka hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima, artinya tidak dapat menolak hipotesis nol dari rangkaian data debit *inflow* tersebut atau rangkaian data debit *inflow* adalah independen dan tidak mungkin menunjukkan adanya trend. Dengan demikian berarti rangkaian data debit *inflow* dapat dipergunakan untuk analisis dalam penelitian ini.

Hidrograf debit rata-rata tahunan ( $m^3/detik$ ) sepanjang 46 tahun (1953 -1998) dapat digambarkan sebagaimana Gambar 5-1 berikut.



Gambar 5-1 : Hidrograf Rangkaian Data Debit *Inflow* Waduk Rata-rata Tahunan

### 5.1.2. Uji Stasioner Rangkaian Data Debit *Inflow* Waduk

Uji stasioner rangkaian data debit *inflow* ( $m^3/detik$ ) dilakukan setelah pengujian trend menunjukkan tidak adanya trend, uji stasioner dilakukan untuk menguji kestabilan nilai varian dan kestabilan nilai rata-rata dari rangkaian data debit *inflow* tersebut.

Analisis uji kestabilan nilai varian dan kestabilan nilai rata-rata dapat digunakan dengan mengelompokkan data sebagai berikut :

Tabel 5-2 : Analisis Uji Stasioner Debit *Inflow* Waduk

No	Data ( $X_1$ ) Kelompok I	Data ( $X_2$ ) Kelompok II	$X_1 - \bar{X}_1$	$X_2 - \bar{X}_2$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	24,91	24,17	-1,64	2,41	2,67	5,80
2	24,46	21,25	-2,09	-0,52	4,35	0,27
3	29,62	19,95	3,08	-1,82	9,48	3,30
4	26,83	25,33	0,29	3,57	0,08	12,73
5	26,43	19,73	-0,11	-2,03	0,01	4,11
6	36,07	26,19	9,53	4,42	90,73	19,56
7	38,97	33,43	12,43	11,67	154,47	136,10
8	26,57	5,66	0,03	-16,10	0,00	259,34
9	21,08	12,06	-5,47	-9,71	29,89	94,22
10	22,29	15,94	-4,25	-5,82	18,07	33,92
11	25,40	11,71	-1,14	-10,05	1,30	101,07
12	21,25	16,97	-5,29	-4,80	27,97	23,00
13	23,30	23,43	-3,24	1,67	10,49	2,78
14	22,08	24,93	-4,47	3,17	19,95	10,05
15	25,79	19,82	-0,75	-1,94	0,57	3,78
16	32,07	25,73	5,53	3,97	30,55	15,74
17	24,80	26,45	-1,74	4,68	3,04	21,93
18	19,77	26,38	-6,77	4,62	45,88	21,33
19	26,76	23,19	0,22	1,43	0,05	2,04
20	18,33	26,12	-8,21	4,36	67,48	19,02
21	28,71	23,94	2,17	2,18	4,71	4,76
22	28,77	18,25	2,23	-3,51	4,96	12,31
23	36,23	29,92	9,69	8,16	93,86	66,53
Jumlah	610,47	500,53			620,58	873,66
$\bar{X}_1 = 26,54$						
$\bar{X}_2 = 21,76$						
$S_1 = 5,31$						
$S_2 = 6,30$						

Dengan  $n_1 = 23$ ,  $n_2 = 23$  dan hasil Tabel 5-2 maka diperoleh :

$S_1 = 5,31$  (persamaan 3-9)

$S_2 = 6,30$  (persamaan 3-10)

$\sigma = 5,96$  (persamaan 3-12)

Uji kestabilan varian :  $F_{hitung} = 0,71$  (persamaan 3-8)

Uji kestabilan nilai rata-rata :  $t_{hitung} = 1,953$  (persamaan 3-11)

Untuk derajat kebebasan  $dk_1 = n_1 - 1 = 22$  dan  $dk_2 = n_2 - 1 = 22$  dengan derajat kepercayaan 5 % diperoleh :



$F_{tabel} = 2,074$  (Lampiran D)

Untuk derajat kebebasan  $dk = n_1 + n_2 - 2 = 44$  pada pengujian dua sisi dengan derajat kepercayaan 5 % diperoleh :

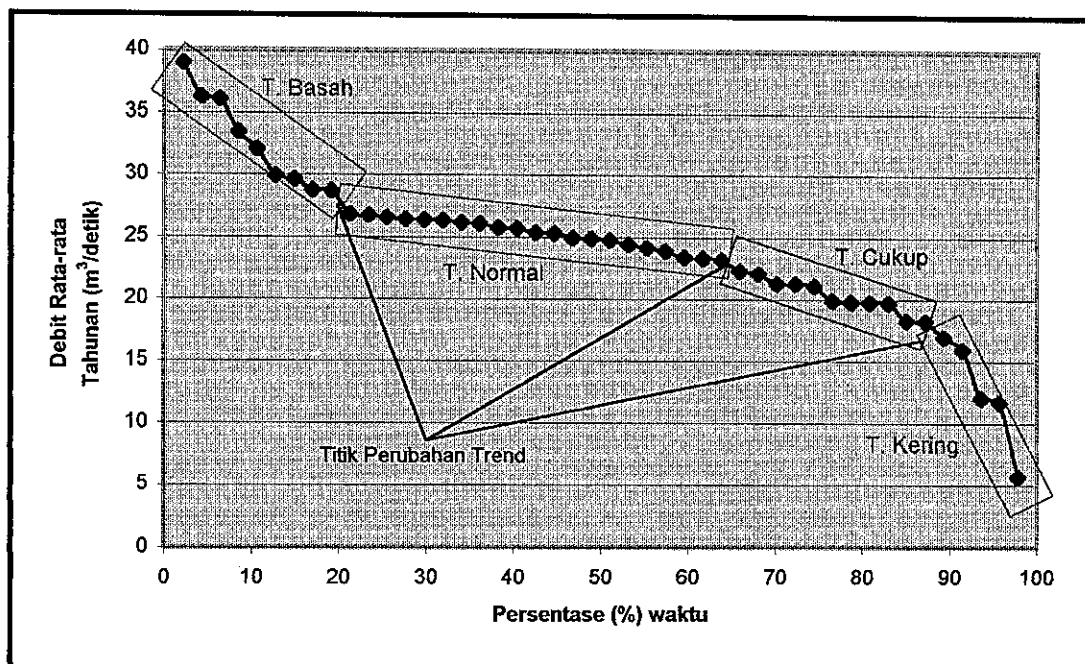
$t_{tabel} = 1,96$  (Lampiran C)

Karena nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$  dan  $t_{hitung} < t_{tabel}$  , maka hipotesis nol dapat diterima, artinya varian kedua kelompok rangkaian data tidak ada bedanya atau stabil, dengan kata lain bahwa rangkaian data adalah stasioner.

Dari hasil analisis data rangkaian debit *inflow* waduk dapat disimpulkan bahwa rangkaian data debit rata-rata *inflow* tahunan dapat digunakan untuk analisis simulasi maupun peluang.

### 5.1.3. Analisis Skenario Pola Debit *Inflow* Waduk

Berdasarkan total debit *inflow* bulanan rata-rata ( $m^3/detik$ ) sepanjang 46 tahun, maka pengelompokan pola debit *inflow* waduk dapat dilakukan di mana total debit bulanan rata-rata tersebut di urutkan dari debit terbesar sampai debit terkecil.dengan debit rata-rata tahunan dan persentase waktu kejadian (Lampiran E). Setelah diplotkan dan secara visualisasi dari kelompok tahun debit *inflow* tersebut dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok yaitu pada kondisi Tahun Basah, Tahun Normal, Tahun Cukup dan Tahun Kering sebagaimana Gambar 5-2 berikut.



Gambar 5-2 : Hasil Visualisasi Pengelompokan Pola Debit *Inflow* Waduk

Dengan demikian pengelompokan tahun debit *inflow* ditentukan menurut batasan titik perubahan trend antar kelompok, sedang batasan debit rata-rata tahunan masing-masing kelompok (Lampiran E) dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Kelompok debit *inflow* waduk pada kondisi “Tahun Basah” dengan debit rata-rata tahunan  $\geq 28,71 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
- Kelompok debit *inflow* waduk pada kondisi “Tahun Normal” dengan debit rata-rata tahunan  $\geq 23,19 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan  $< 28,71 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
- Kelompok debit *inflow* waduk pada kondisi “Tahun Cukup” dengan debit rata-rata tahunan  $\geq 18,25 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan  $< 23,19 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
- Kelompok debit *inflow* waduk pada kondisi “Tahun Kering” dengan debit rata-rata tahunan  $< 18,25 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Pengelompokan tahun pola debit *inflow* waduk dapat dilihat pada Tabel 5-3 berikut.

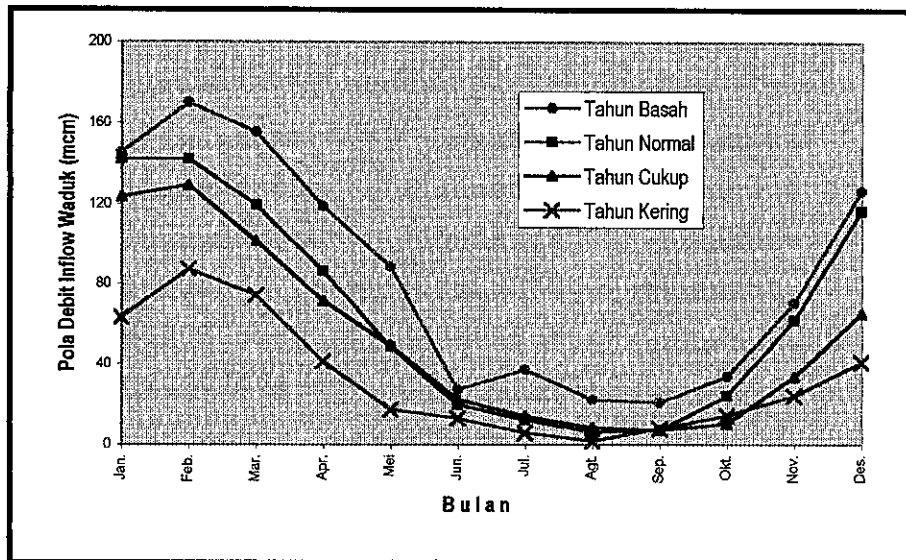
Tabel 5-3 : Analisis Kelompok Tahun Pola Debit *Inflow* Waduk

TAHUN			
Basah	Normal	Cukup	Kering
1959	1956	1962	1987
1975	1971	1966	1985
1958	1960	1964	1984
1982	1992	1977	1986
1968	1957	1961	1983
1998	1993	1978	
1955	1981	1990	
1974	1995	1970	
1973	1967	1980	
	1991	1972	
	1963	1997	
	1979		
	1989		
	1953		
	1969		
	1954		
	1976		
	1996		
	1988		
	1965		
	1994		

Berdasarkan kelompok kondisi tahun debit *inflow* tersebut, debit rata-rata bulanan kelompok skenario tersebut (Lampiran F) dan grafiknya adalah sebagaimana Tabel 5-4 dan Gambar 5-3 berikut :

Tabel 5-4 : Analisis Debit Bulanan Rata-rata Skenario Debit *Inflow* Waduk

Bulan	TAHUN			
	Basah	Normal	Cukup	Kering
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Jan	145,55	142,20	123,30	62,83
Feb	170,12	142,02	129,29	87,19
Mar	155,54	119,49	101,37	73,85
Apr	118,72	86,18	71,15	41,03
Mei	88,55	48,47	48,78	16,85
Jun	26,86	19,41	21,95	12,57
Jul	36,93	11,95	13,71	5,42
Ags	21,98	5,99	8,19	1,63
Sep	20,65	6,95	6,89	7,70
Okt	33,62	23,77	9,93	14,07
Nov	70,29	61,43	33,31	23,87
Des	126,53	116,38	64,96	40,69



Gambar 5-3 : Grafik Distribusi Debit Bulanan Skenario Pola Debit *Inflow*

#### 5.1.4. Analisis Kebutuhan Air Irigasi Dari Waduk

Besarnya kebutuhan air irigasi diperhitungkan berdasarkan kondisi kekurangan air yang belum terpenuhi dari ketersediaan air di hilir waduk menurut pola tanam sistem golongan sebagaimana Tabel 5-5 berikut.

Tabel 5-5: Analisis Kebutuhan Air Daerah Irigasi Setelah Memperhitungkan Ketersediaan Air Di hilir Waduk

Bulan	Kebutuhan Air Irigasi		Ketersediaan air di hilir		Kebutuhan suplesi dari waduk		
	Golongan		Golongan		Golongan		
	I	II	I	II	I	II	I dan II
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Okt	161,76	2,54	33,43	0,00	128,33	2,54	130,87
Nov	126,94	168,00	26,23	62,09	100,71	105,91	206,62
Des	85,11	86,98	17,59	32,15	67,52	54,84	122,36
Jan	0,00	24,63	0,00	9,10	0,00	15,53	15,53
Feb	67,98	8,59	56,06	3,17	11,92	5,41	17,33
Mar	78,60	84,38	64,82	15,61	13,78	68,77	82,55
Apr	131,06	116,91	108,08	21,63	22,98	95,28	118,26
Mei	31,65	91,99	26,10	17,02	5,55	74,97	80,52
Jun	16,72	9,05	7,86	1,68	8,85	7,38	16,23
Jul	19,89	12,74	9,35	0,00	10,53	12,74	23,27
Agt	28,45	26,39	13,38	0,00	15,07	26,39	41,46
Sep	14,54	21,22	6,84	0,00	7,70	21,22	28,92
Total	762,70	653,42	369,74	162,45	392,94	490,98	883,92

Perhitungan kebutuhan air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) berdasarkan jenis tanaman dan luas areal irigasi dapat diuraikan dalam Tabel 5-6 berikut.

Tabel 5-6 : Perhitungan Kebutuhan Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) Berdasarkan Jenis Tanaman

Golongan I

Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )
1. Oktober	1,62,E+08	1. Februari	6,80E+07	1. Juni	1,67E+07
2. November	1,27,E+08	2. Maret	7,86E+07	2. Juli	1,99E+07
3. Desember	8,51,E+07	3. April	1,31E+08	3. Agustus	2,84E+07
4. Januari	0,00,E+00	4. Mei	3,17E+07	4. September	1,45E+07
Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	3,74E+08	Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	3,09E+08	Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	7,96E+07
Luas Areal Irigasi (Ha)	37.385	Luas Areal Irigasi (Ha)	37.385	Luas Areal Irigasi (Ha)	37.385
Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	9.999,07	Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	8273,23	Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	2.128,75

Golongan II

Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	Bulan	Keb. Air ( $\text{m}^3$ )
1. November	1,68,E+08	1. Maret	8,44,E+07	1. Juli	1,27E+07
2. Desember	8,70,E+07	2. April	1,17,E+08	2. Agustus	2,64E+07
3. Januari	2,46,E+07	3. Mei	9,20,E+07	3. September	2,12E+07
4. Februari	8,59,E+06	4. Juni	9,05,E+06	4. Oktober	2,54E+06
Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	2,88E+08	Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	3,02E+08	Total Keb. Air ( $\text{m}^3$ )	6,29E+07
Luas Areal Irigasi (Ha)	33.534	Luas Areal Irigasi (Ha)	33.534	Luas Areal Irigasi (Ha)	33.534
Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	8.594,06	Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	9015,70	Rata-rata Keb. Air ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	1.875,46

## 5.2. Hasil Analisis Optimasi

Dari formulasi model program dalam “MKAI” dan “MPPW” dihasilkan *output* dari masing-masing Fungsi Tujuan (*Objective Function*) Paket Program LINDO menurut skenario kelompok tahun debit *inflow*, kemudian dilanjutkan dengan analisis pengoperasian waduk dan analisis daerah irigasi yang dapat diiri dari target pelepasan air irigasi.

### 5.2.1. Analisis Pola Pengoperasian Waduk

Dari hasil “MKAI”, waduk dapat beroperasi secara optimal dengan total kekurangan air irigasi (selisih/deviasi tidak tercapai target kebutuhan) pada kondisi “Tahun Basah” sebesar 113, 62 juta  $\text{m}^3$ , “Tahun Normal” sebesar 342,33 juta  $\text{m}^3$ , “Tahun Cukup” sebesar 496,15 juta  $\text{m}^3$  dan “Tahun Kering” sebesar 741,26 juta  $\text{m}^3$

(Lampiran G). Pendistribusian besarnya kekurangan air irigasi dengan “MKAI” ditunjukkan seperti Tabel 5-7 berikut.

Tabel 5-7 : Distribusi Kekurangan Air Irigasi Hasil Optimasi “MKAI”

Bulan	T Basah		T Normal		T Cukup		T. Kering	
	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Okt	7,74	0,00	102,79	2,54	128,33	0,00	128,33	2,54
Nov	0,00	0,00	100,71	61,86	100,71	0,75	100,71	101,02
Des	0,00	14,38	0,00	25,99	21,12	54,84	45,39	54,84
Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,53
Feb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,41
Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,78	68,77
Apr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,98	95,28
Mei	5,55	0,00	5,55	0,00	5,55	74,97	5,55	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00	7,38	8,85	7,38	8,85	7,38
Jul	10,53	12,74	0,00	12,74	10,53	12,74	10,53	0,00
Agus	15,07	26,39	15,07	0,00	15,07	26,39	15,07	26,39
Sep	0,00	21,22	7,70	0,00	7,70	21,22	7,70	5,21
Total	113,62		342,33		496,15		741,26	

Dari hasil “MPPW” (Lampiran G), ternyata penyimpangan positif (kelebihan pelepasan/pelepasan air irigasi) setiap bulan pengoperasian adalah nol (0,00), sehingga penyimpangan pelepasan air irigasi hanya terjadi dalam bentuk penyimpangan negatif (kekurangan pelepasan/penyimpangan air irigasi), sehingga waduk dapat beroperasi secara optimal dengan total penyimpangan pelepasan (selisih/deviasi tidak tercapai target kebutuhan) pada “Tahun Basah” sebesar 113, 62 juta m<sup>3</sup>, “Tahun Normal” sebesar 342,33 juta m<sup>3</sup>, “Tahun Cukup” sebesar 496,15 juta m<sup>3</sup> dan “Tahun Kering” sebesar 741,26 juta m<sup>3</sup>, hal mana menunjukkan tidak jauh berbeda dengan hasil “MKAI” (Lampiran G). Pendistribusian penyimpangan pelepasan kekurangan air irigasi dengan “MPPW” ditunjukkan seperti Tabel 5-8 berikut.

Tabel 5-8 : Distribusi Penyimpangan Pelepasan Waduk Hasil Optimasi "MPPW"

Bulan	T Basah		T Normal		T Cukup		T Kering	
	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II	DI Gol. I	DI Gol. II
	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>
Okt	0,00	0,00	83,29	2,54	0,00	2,54	128,33	2,54
Nov	99,24	0,00	100,71	0,00	100,71	0,00	95,82	105,91
Des	14,38	0,00	0,00	25,99	67,52	8,44	67,52	54,84
Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,41
Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	13,78	0,00	13,78	68,77
Apr	0,00	0,00	0,00	95,28	22,98	89,80	22,98	95,28
Mei	0,00	0,00	5,55	0,00	5,55	74,97	5,55	0,00
Jun	0,00	0,00	8,85	7,38	8,85	7,38	8,85	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00	12,74	10,53	12,74	10,53	12,74
Agus	0,00	0,00	0,00	0,00	15,07	26,39	15,07	0,00
Sep	0,00	0,00	0,00	0,00	7,70	21,22	6,12	21,22
Total	113,62		342,33		496,17		741,26	

Pola operasi (pedoman pengoperasian waduk optimum) dengan "MKAI" dan "MPPW" hasil optimasi ditentukan berdasarkan total pelepasan optimum waduk, dan elevasi muka air waduk ditentukan berdasarkan volume tampungan waduk yang diperoleh dari penjumlahan besarnya pelepasan waduk dengan kapasitas minimal air waduk, selanjutnya dengan menggunakan persamaan karakteristik waduk (Persamaan 2-1 dan Persamaan 2-2). Hasilnya dapat di lihat pada Tabel 5-9 dan Tabel 5-10 berikut.

Tabel 5-9 : Elevasi dan Pelepasan Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi "MKAI"

Bulan	Tahun Basah		Tahun Normal		Tahun Cukup		Tahun Kering	
	Elevasi	Pelepasan	Elevasi	Pelepasan	Elevasi	Pelepasan	Elevasi	Pelepasan
	m	juta m <sup>3</sup>	m	juta m <sup>3</sup>	m	juta m <sup>3</sup>	m	juta m <sup>3</sup>
Okt	74,67	139,07	64,50	41,48	71,33	18,48	64,50	15,94
Nov	64,50	222,56	64,50	59,99	64,50	121,10	64,50	20,83
Des	64,50	123,92	64,50	112,31	64,50	62,34	64,50	38,07
Jan	72,42	31,47	72,32	31,47	71,21	31,47	68,59	15,94
Feb	78,67	33,27	77,50	33,27	75,89	33,27	71,80	27,86
Mar	80,78	98,49	78,16	98,49	75,78	98,49	74,52	15,94
Apr	79,96	134,20	75,67	134,20	72,40	134,20	75,48	15,94
Mei	79,67	90,91	73,33	90,91	73,84	15,94	71,46	90,91
Jun	79,25	32,17	72,84	24,79	73,90	15,94	71,00	15,94
Jul	79,90	15,94	71,80	26,47	73,53	15,94	69,36	28,68
Agus	79,91	15,94	69,44	42,33	72,84	15,94	68,27	15,94
Sep	79,57	23,64	67,71	37,16	72,07	15,94	65,57	31,95
Total Pelepasan		961,58	-	732,87	-	579,05	-	333,94

Tabel 5-10 : Elevasi dan Pelepasan Pengoperasian Waduk hasil Optimasi "MPPW"

Bulan	Tahun Basah		Tahun Normal		Tahun Rendah		Tahun Kering	
	Elevasi m	Pelepasan juta m <sup>3</sup>	Elevasi m	Pelepasan juta m <sup>3</sup>	Elevasi m	Pelepasan juta m <sup>3</sup>	Elevasi m	Pelepasan juta m <sup>3</sup>
Okt	69,33	146,81	69,68	60,98	71,37	144,27	64,50	15,94
Nov	64,50	123,32	64,50	121,85	64,50	121,85	64,50	20,83
Des	64,50	123,92	64,50	112,31	64,50	62,34	67,68	15,94
Jan	72,42	31,47	72,32	31,47	71,21	31,47	68,99	31,47
Feb	78,67	33,27	77,50	33,27	75,89	33,27	72,16	27,86
Mar	80,78	98,49	78,16	98,49	76,42	84,71	74,84	15,94
Apr	79,96	134,20	79,80	38,92	78,38	21,42	75,79	15,94
Mei	79,44	96,46	77,80	90,91	79,54	15,94	71,82	90,91
Jun	79,02	32,17	77,77	15,94	79,59	15,94	70,96	23,32
Jul	78,71	39,21	76,91	26,47	79,28	15,94	70,07	15,94
Agus	76,93	57,40	74,26	57,40	78,73	15,94	67,69	42,33
Sep	75,58	44,86	72,04	44,86	78,11	15,94	65,57	17,52
Total Pelepasan		961,58	-	732,87	-	579,03	-	333,94

Dari analisis optimasi "MKAI", waduk dapat mensuplai air dalam satu tahun pengoperasian (Oktober – September) menurut kondisi "Tahun Basah" sebesar 961,58 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Normal" sebesar 732,87 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Cukup" sebesar 579,05 juta m<sup>3</sup> dan "Tahun Kering" sebesar 333,94 juta m<sup>3</sup>, (Tahun Basah > Tahun Normal > Tahun Cukup > Tahun Kering). Dari total pelepasan waduk tersebut merupakan pelepasan untuk kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup>/bulan (konstan sepanjang tahun) dan sisanya untuk keperluan irigasi. Karena total pelepasan air dari waduk dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik, maka semua pelepasan air adalah melalui *outlet* turbin, kecuali pelepasan bulan November di mana total pelepasan sebesar 222,56 juta m<sup>3</sup> selain melalui *outlet* turbin dengan kapasitas pelepasan *outlet* turbin maksimum 160,19 juta m<sup>3</sup> dan sisanya sebesar 62,37 juta m<sup>3</sup> melalui pelepasan *outlet* irigasi.

Dari analisis optimasi "MPPW", waduk dapat mensuplai air dalam satu tahun pengoperasian (Oktober – September) menurut kondisi kelompok "Tahun Basah" sebesar 961,58 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Normal" sebesar 732,87 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Cukup" sebesar 579,03 juta m<sup>3</sup> dan "Tahun Kering" sebesar 333,94 juta m<sup>3</sup> (Tahun Basah > Tahun Normal > Tahun Rendah > Tahun Kering). Total pelepasan waduk tersebut



merupakan pelepasan untuk kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup>/bulan (konstan sepanjang tahun) dan sisanya untuk keperluan irigasi. Total pelepasan air dari waduk dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik, maka semua pelepasan air adalah melalui *outlet* turbin (total pelepasan tidak lebih dari kapasitas maksimum *outlet* turbin).

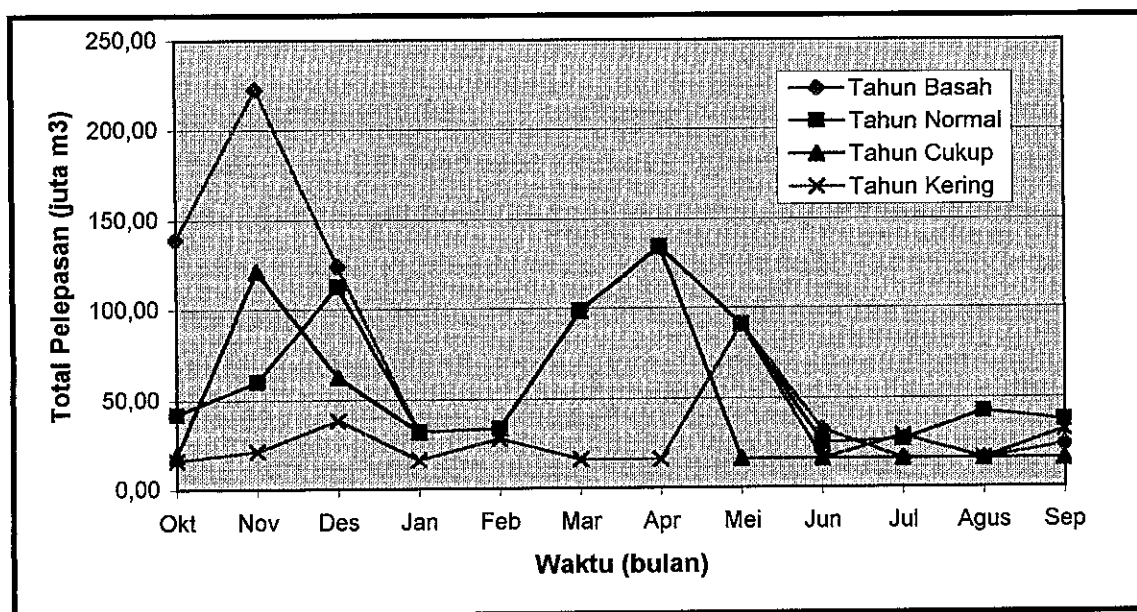
Total pelepasan optimum waduk setiap bulan operasi merupakan pelepasan air baku dan air irigasi golongan I dan II menurut skenario kelompok tahun debit *inflow* waduk, dan dari total pelepasan tersebut dapat diketahui :

1). Pola pengoperasian waduk (Pelepasan Rencana)

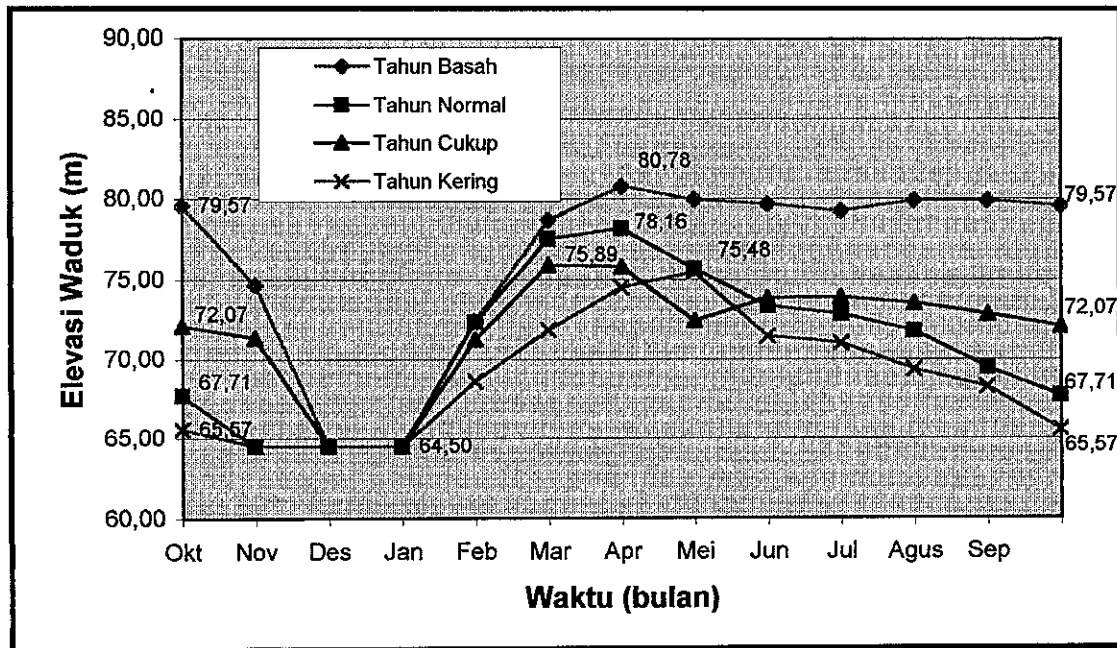
Pelepasan rencana merupakan hasil optimasi di mana elevasi awal pengoperasian waduk sama dengan elevasi akhir pengoperasian waduk dalam satu tahun.

2). Fluktuasi muka air waduk (*Rule Curve*), merupakan elevasi muka air tampungan waduk bulanan menurut masing-masing kelompok tahun skenario dari jenis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) yang dilakukan.

Pola pengoperasian dan *Rule Curve* pengoperasian waduk dengan “MKAI” dapat ditunjukkan sebagaimana Gambar 5-4 dan Gambar 5-5 berikut.



Gambar 5-4 : Pola Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MKAI”

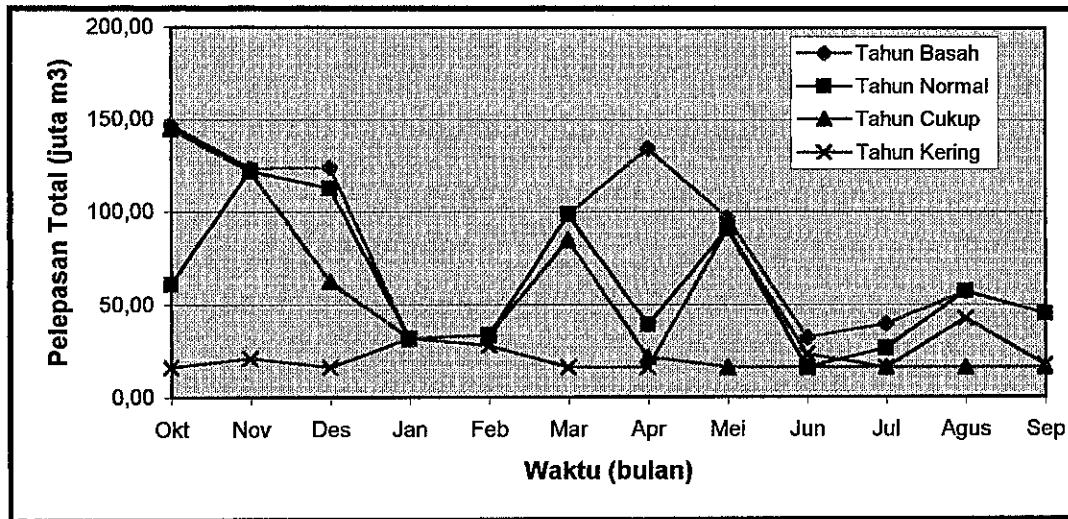


Gambar 5-5 : Rule Curve Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MKAI”

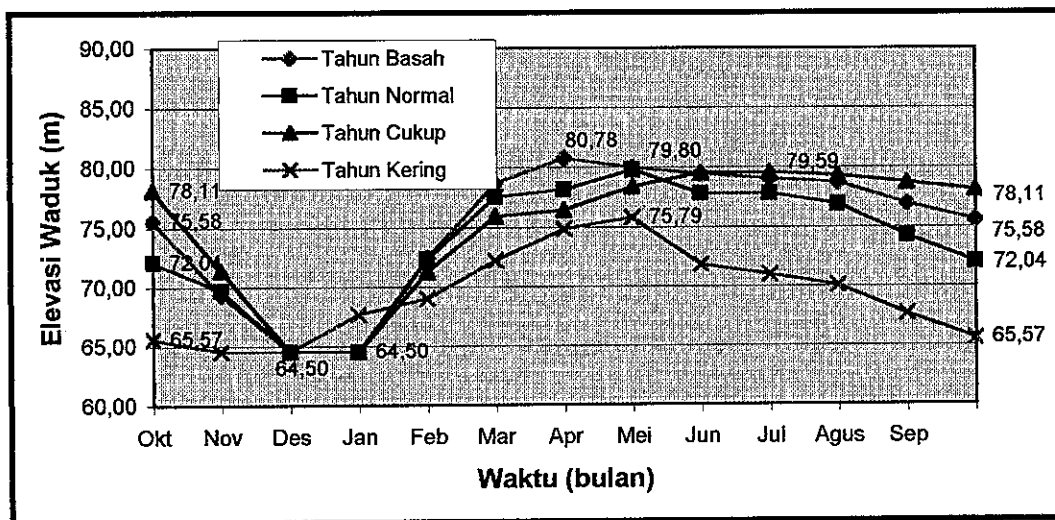
Dari pelepasan dan fluktuasi muka air waduk (*Rule Curve*) yang dihasilkan dari “MKAI” menunjukkan bahwa :

- Dengan awal pengoperasian + 79,57 m pada kondisi “Tahun Basah” dan + 67,71 pada kondisi “Tahun Normal” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan April tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan Mei sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 961,58 juta  $m^3$  dan 732,87 juta  $m^3$ .
- Dengan awal pengoperasian + 72,07 m pada kondisi “Tahun Cukup” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan Maret tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan April sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 579,05 juta  $m^3$ .
- Dengan awal pengoperasian + 65,57 m pada kondisi “Tahun Kering” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan Mei tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan Juni sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 333,94 juta  $m^3$ .

Untuk pola pengoperasian dan *Rule Curve* pengoperasian waduk dengan “MPPW” dapat ditunjukkan sebagaimana Gambar 5-6 dan Gambar 5-7 berikut.



Gambar 5-6 : Pola Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MPPW”



Gambar 5-7 : *Rule Curve* Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi “MPPW”

Dari pelepasan dan fluktuasi muka air waduk (*Rule Curve*) yang dihasilkan dari “MPPW” menunjukkan bahwa :

- Dengan awal pengoperasian + 75,58 m pada kondisi “Tahun Basah” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan April tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan)

mulai awal bulan Mei sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 961,58 juta m<sup>3</sup>.

- Dengan awal pengoperasian + 72,04 m pada kondisi “Tahun Normal” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan Mei tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan Juni sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 732,87 juta m<sup>3</sup>.
- Dengan awal pengoperasian + 75,58 m pada kondisi “Tahun Cukup” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Januari sampai dengan awal bulan Juni dan Juli tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan Agustus sampai dengan awal bulan Desember, dan total pelepasan waduk 579,03 juta m<sup>3</sup>.
- Dengan awal pengoperasian + 65,57 m pada kondisi “Tahun Kering” periode muka air naik (pengisian) mulai dari awal bulan Desember sampai dengan awal bulan Mei tahun berikutnya, sedang periode muka air surut (pengosongan) mulai awal bulan Juni sampai dengan awal bulan November, dan total pelepasan waduk 333,94 juta m<sup>3</sup>.

Fluktuasi air waduk (*Rule Curve*) yang diperoleh tersebut dapat merupakan pedoman pengaturan pelepasan air dari waduk menurut kondisi kelompok tahun debit *inflow* waduk. Tata cara pelepasan air waduk berdasarkan *Rule Curve* hasil optimasi dapat dilakukan dengan :

- Jika elevasi muka air waduk berada di bawah elevasi rencana (*Rule Curve*) maka rencana pelepasan harus diperkecil pada batas tertentu sampai diperoleh elevasi muka air waduk kenyataan sama dengan elevasi muka air waduk rencana.
- Jika elevasi muka air waduk berada di atas muka air waduk rencana maka rencana pelepasan dapat diperbesar pada batas tertentu sampai diperoleh elevasi muka air waduk kenyataan sama dengan elevasi muka air waduk rencana.

Dari kedua hasil optimasi yang dilakukan (“MKAI” dan “MPPW”) dapat disimpulkan bahwa pola operasi optimum hasil optimasi dengan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MKAI” memberikan total pelepasan waduk cenderung sama dengan pola operasi optimum hasil optimasi Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

“MPPW” menurut kondisi kelompok debit *inflow* waduk, kecuali kelompok “Tahun Cukup” dengan total pelepasan dengan “MKAI” adalah 579,05 juta m<sup>3</sup> dan “MPPW” adalah 579,03 juta m<sup>3</sup>. Akan tetapi besarnya pendistribusian pelepasan air waduk bulanan adalah berbeda. Kesamaan total pelepasan waduk terjadi karena tujuan untuk meminimumkan penyimpangan pelepasan air waduk ternyata hanya terjadi pada penyimpangan pelepasan air irigasi bentuk negatif (kekurangan air irigasi) sebagaimana pada tujuan untuk meminimumkan kekurangan air irigasi. Disamping itu dari kedua bentuk analisis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) tersebut di mana pemenuhan kebutuhan air baku sama-sama diprioritaskan konstan sepanjang tahun pengoperasian, sehingga total pelepasan air irigasi akan cenderung sama. Karena pendistribusian air irigasi dipengaruhi oleh besarnya kebutuhan air irigasi menurut jenis tanaman dan sistem golongan pola tanam, maka besarnya pendistribusian pelepasan air waduk dengan pelepasan air irigasi akan berbeda.

### 5.2.2. Analisis Daerah Irigasi

Luasan daerah irigasi yang diairi dari waduk menurut jenis tanaman adalah sama setiap bulan dalam satu periode tanam. Total kebutuhan suplesi air irigasi dari waduk sebesar 883,92 juta m<sup>3</sup> (Tabel 5-5). Tabel analisis berikut merupakan luasan daerah irigasi yang dapat diairi menurut hasil optimasi yang dilakukan.

Tabel 5-11 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Basah)

Bulan	Pelepasan Air Dari Waduk				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	120,59	28.884,69	2,54	1.354,33	123,13	30.239,02
Nov	100,71	28.884,69	105,91	19.468,10	206,62	48.352,78
Des	67,52	28.884,69	40,46	19.468,10	107,98	48.352,78
Jan	0,00	28.884,69	15,53	19.468,10	15,53	48.352,79
Febr	11,92	5.884,04	5,41	19.468,10	17,33	25.352,14
Mar	13,78	5.884,04	68,77	27.330,10	82,55	33.214,14
Apr	22,98	5.884,04	95,28	27.330,10	118,26	33.214,14
Mei	0,00	5.884,04	74,97	27.330,10	74,97	33.214,14
Jun	8,85	7.774,52	7,38	27.330,10	16,23	35.104,62
Jul	0,00	7.774,52	0,00	1.354,33	0,00	9.128,85
Agus	0,00	7.774,52	0,00	1.354,33	0,00	9.128,85
Sep	7,70	7.774,52	0,00	1.354,33	7,70	9.128,85
Total	354,05	170.172,98	416,25	192.610,14	770,30	362.783,11

Dengan “MKAI” pada kondisi Tahun Basah , dari total pelepasan air irigasi sebesar 770,30 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 87 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 362.783,11 ha, sehingga daerah irigasi rata-rata yang dapat diairi dari pelepasan air waduk adalah 30.231,93 ha/tahun (setara dengan 66 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 15.775,07 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 55.143,93 ha (setara dengan 78 %) dari 70.919 ha luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-12: Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi “MKAI” Kondisi Tahun Normal)

Bulan	Pelepasan Air Dari Waduk				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	25,54	9.306,87	0,00	25.385,77	25,54	34.692,64
Nov	0,00	9.306,87	44,05	10.919,17	44,05	20.226,04
Des	67,52	9.306,87	28,85	10.919,17	96,37	20.226,04
Jan	0,00	9.306,87	15,53	10.919,17	15,53	20.226,04
Febr	11,92	5.884,04	5,41	10.919,17	17,33	16.803,21
Mar	13,78	5.884,04	68,77	26.511,53	82,55	32.395,57
Apr	22,98	5.884,04	95,28	26.511,53	118,26	32.395,57
Mei	0,00	5.884,04	74,97	26.511,53	74,97	32.395,57
Jun	8,85	7.774,52	0,00	26.511,53	8,85	34.286,05
Jul	10,53	7.774,52	0,00	25.385,77	10,53	33.160,29
Agus	0,00	7.774,52	26,39	25.385,77	26,39	33.160,29
Sep	0,00	7.774,52	21,22	25.385,77	21,22	33.160,29
Total	161,12	91.861,72	380,47	251.265,88	541,59	343.127,60

Dengan “MKAI” pada kondisi Tahun Normal, dari total pelepasan air irigasi 541,59 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 61 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 343.127,60 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 29.037,10 ha/tahun (setara dengan 63 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 16.969,90 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 53.949,10 ha (setara dengan 76 %) dari 70.919 ha luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-13 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi "MKAI" Kondisi Tahun Cukup)

Bulan	Pelepasan Air Dari Waduk				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	0,00	4.640,43	2,54	1.354,33	2,54	5.994,77
Nov	0,00	4.640,43	105,16	14.672,93	105,16	19.313,36
Des	46,40	4.640,43	0,00	14.672,93	46,40	19.313,36
Jan	0,00	4.640,43	15,53	14.672,93	15,53	19.313,36
Febr	11,92	5.884,04	5,41	14.672,93	17,33	20.556,96
Mar	13,78	5.884,04	68,77	18.196,04	82,55	24.080,07
Apr	22,98	5.884,04	95,28	18.196,04	118,26	24.080,07
Mei	0,00	5.884,04	0,00	18.196,04	0,00	24.080,07
Jun	0,00	0,00	0,00	18.196,04	0,00	18.196,04
Jul	0,00	0,00	0,00	1.354,33	0,00	1.354,33
Agus	0,00	0,00	0,00	1.354,33	0,00	1.354,33
Sep	0,00	0,00	0,00	1.354,33	0,00	1.354,33
Total	95,08	42.097,88	292,69	136.893,18	387,77	178.991,06

Dengan "MKAI" pada kondisi Tahun Cukup, dari total pelepasan air irigasi sebesar 387,77 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 43 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 178.991,06 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 14.915,92 ha/tahun (setara dengan 32 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 31.091,08 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 39.827,92 ha/tahun (setara dengan 56 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-14: Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi "MKAI" Kondisi Tahun Kering)

Bulan	Pelepasan Air Dari Waduk				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	0,00	2.213,21	0,00	15.329,58	0,00	17.542,78
Nov	0,00	2.213,21	4,89	569,00	4,89	2.782,20
Des	22,13	2.213,21	0,00	569,00	22,13	2.782,20
Jan	0,00	2.213,21	0,00	569,00	0,00	2.782,20
Febr	11,92	1.440,79	0,00	569,00	11,92	2.009,79
Mar	0,00	1.440,79	0,00	8.315,49	0,00	9.756,29
Apr	0,00	1.440,79	0,00	8.315,49	0,00	9.756,29
Mei	0,00	1.440,79	74,97	8.315,49	74,97	9.756,29
Jun	0,00	0,00	0,00	8.315,49	0,00	8.315,49
Jul	0,00	0,00	12,74	15.329,58	12,74	15.329,58
Agus	0,00	0,00	0,00	15.329,58	0,00	15.329,58
Sep	0,00	0,00	16,01	15.329,58	16,01	15.329,58
Total	34,05	14.615,99	108,61	96.856,27	142,66	111.472,26

Dengan “MKAI” pada kondisi Tahun Kering, dari total pelepasan air irigasi sebesar 142,66 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 16 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 111.472,26 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 9.289,36 ha/tahun (setara dengan 20 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 36.717,64 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 34.201,36 ha/tahun (setara dengan 48 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-15 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Basah)

Bulan	Pelepasan Air dan Daerah Irigasi				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	128,33	18.295,70	2,54	33.533,11	130,87	51.828,81
Nov	1,47	18.295,70	105,91	21.141,35	107,38	39.437,05
Des	53,14	18.295,70	54,84	21.141,35	107,98	39.437,05
Jan	0,00	18.295,70	15,53	21.141,35	15,53	39.437,05
Febr	11,92	6.554,88	5,41	21.141,35	17,33	27.696,22
Mar	13,78	6.554,88	68,77	27.330,10	82,55	33.884,98
Apr	22,98	6.554,88	95,28	27.330,10	118,26	33.884,98
Mei	5,55	6.554,88	74,97	27.330,10	80,52	33.884,98
Jun	8,85	19.800,35	7,38	27.330,10	16,23	47.130,45
Jul	10,53	19.800,35	12,74	33.533,11	23,27	53.333,46
Agus	15,07	19.800,35	26,39	33.533,11	41,46	53.333,46
Sep	7,70	19.800,35	21,22	33.533,11	28,92	53.333,46
Total	279,32	178.603,72	490,98	328.018,21	770,30	506.621,94

Dengan “MPPW” pada kondisi Tahun Basah, dari total pelepasan air sebesar 770,30 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 87 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 506.621,94 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 42. 218,50 ha/tahun (setara dengan 92 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 3.788,50 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 67.130,49 ha/tahun (setara dengan 95 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.



Tabel 5-16 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi "MPPW" Kondisi Tahun Normal)

Bulan	Pelepasan Air dan Daerah Irigasi				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	45,04	11.257,05	0,00	25.385,77	45,04	36.642,82
Nov	0,00	11.257,05	105,91	18.117,16	105,91	29.374,21
Des	67,52	11.257,05	28,85	18.117,16	96,37	29.374,21
Jan	0,00	11.257,05	15,53	18.117,16	15,53	29.374,21
Febr	11,92	5.884,04	5,41	18.117,16	17,33	24.001,20
Mar	13,78	5.884,04	68,77	15.943,30	82,55	21.827,34
Apr	22,98	5.884,04	0,00	15.943,30	22,98	21.827,34
Mei	0,00	5.884,04	74,97	15.943,30	74,97	21.827,34
Jun	0,00	15.642,98	0,00	15.943,30	0,00	31.586,28
Jul	10,53	15.642,98	0,00	25.385,77	10,53	41.028,75
Agus	15,07	15.642,98	26,39	25.385,77	41,46	41.028,75
Sep	7,70	15.642,98	21,22	25.385,77	28,92	41.028,75
Total	194,54	131.136,27	347,05	237.784,94	541,59	368.921,21

Dengan "MPPW" pada kondisi Tahun Normal, dari total pelepasan air irigasi 541,59 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 61 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 368.921,21 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 30.743,43 ha/tahun (setara dengan 67 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 15.263,57 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 55.655,43 ha/tahun (setara dengan 78 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-17 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi "MPPW" Kondisi Tahun Cukup)

Bulan	Pelepasan Air dari Daerah Irigasi				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	128,33	12.834,19	0,00	0,00	128,33	12.834,19
Nov	0,00	12.834,19	105,91	20.159,27	105,91	32.993,47
Des	0,00	12.834,19	46,40	20.159,27	46,40	32.993,47
Jan	0,00	12.834,19	15,53	20.159,27	15,53	32.993,47
Febr	11,92	1.440,79	5,41	20.159,27	17,33	21.600,06
Mar	0,00	1.440,79	68,77	8.235,63	68,77	9.676,42
Apr	0,00	1.440,79	5,48	8.235,63	5,48	9.676,42
Mei	0,00	1.440,79	0,00	8.235,63	0,00	9.676,42
Jun	0,00	0,00	0,00	8.235,63	0,00	8.235,63
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sep	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	140,25	57.099,94	247,50	113.579,62	387,75	170.679,56

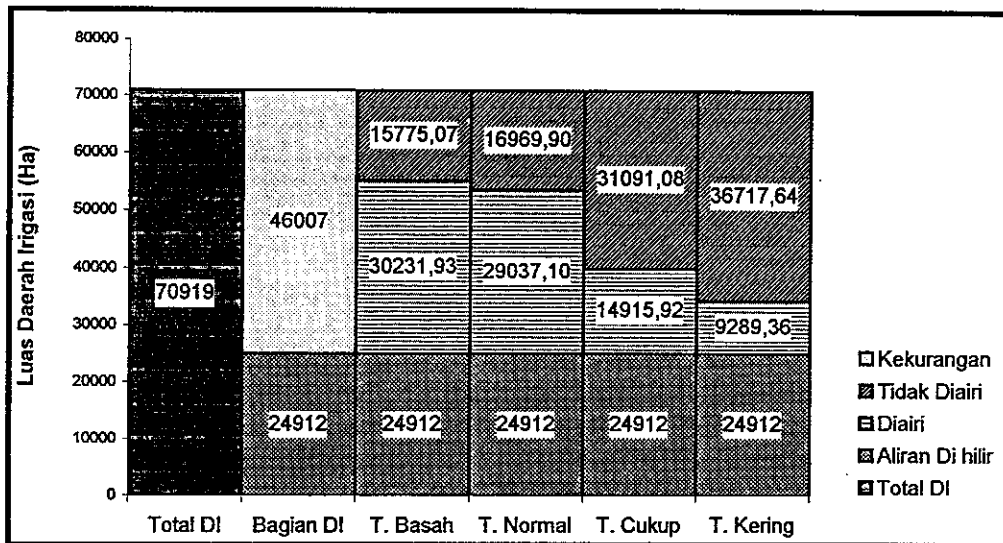
Dengan “MPPW” pada kondisi Tahun Cukup, dari total pelepasan air irigasi sebesar 387,75 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 44 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 170.679,56 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 14.233,70 ha/tahun (setara dengan 31 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 31.783,70 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 39.135,30 ha/tahun (setara dengan 55 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Tabel 5-18 : Analisis Luasan Daerah Irigasi yang Diairi Waduk  
(Hasil Optimasi “MPPW” Kondisi Tahun Kering)

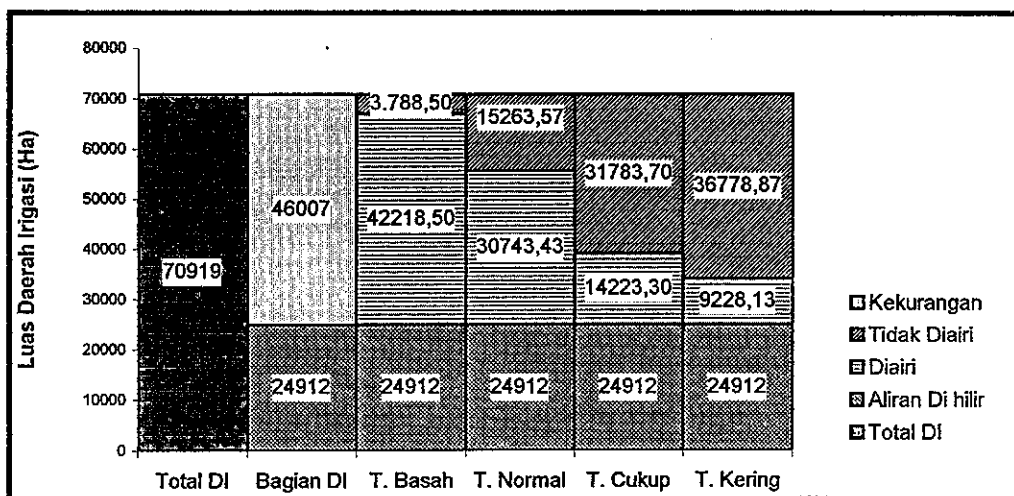
Bulan	Pelepasan Air dari Daerah Irigasi				Total	
	Daerah Irigasi Golongan I		Daerah Irigasi Golongan II		Pelepasan DI	Luas DI
	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha	juta m <sup>3</sup>	ha
Okt	0,00	489,05	0,00	14.071,21	0,00	14.560,26
Nov	4,89	489,05	0,00	1.807,06	4,89	2.296,11
Des	0,00	489,05	0,00	1.807,06	0,00	2.296,11
Jan	0,00	489,05	15,53	1.807,06	15,53	2.296,11
Febr	11,92	1.440,79	0,00	1.807,06	11,92	3.247,85
Mar	0,00	1.440,79	0,00	9.134,07	0,00	10.574,86
Apr	0,00	1.440,79	0,00	9.134,07	0,00	10.574,86
Mei	0,00	1.440,79	74,97	9.134,07	74,97	10.574,86
Jun	0,00	742,22	7,38	9.134,07	7,38	9.876,29
Jul	0,00	742,22	0,00	14.071,21	0,00	14.813,44
Agus	0,00	742,22	26,39	14.071,21	26,39	14.813,44
Sep	1,58	742,22	0,00	14.071,21	1,58	14.813,44
Total	18,39	10.688,24	124,27	100.049,37	142,66	110.737,61

Dengan “MPPW” kondisi Tahun Kering, dari total pelepasan air irigasi sebesar 142,66 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 16 % dari total kebutuhan) dapat mengairi total daerah irigasi seluas 110.737,61 ha, sehingga rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 9.228,13 ha/tahun (setara dengan 20 %) dan yang tidak dapat diairi adalah 36.778,87 ha/tahun. Berarti total luasan wilayah daerah irigasi yang sudah terairi adalah 34.140,13 ha/tahun (setara dengan 48 %) dari luas potensi daerah irigasi yang dilayani.

Dari analisis rata-rata luas daerah irigasi yang diairi dari pelepasan air waduk hasil Optimasi dengan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MKAI” ataupun “MPPW” dapat disimpulkan bahwa rasio rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi pada kondisi kelompok Tahun Basah > Tahun Normal > Tahun Cukup > Tahun Kering. Hal mana dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5-8: Luasan Daerah Irigasi Berdasarkan Pola Operasi Optimum Hasil Optimasi “MKAI”



Gambar 5-9: Luasan Daerah Irigasi Berdasarkan Pola Operasi Optimum Hasil Optimasi “MPPW”

### 5.3. Hasil Analisis Simulasi Pengoperasian Waduk

Dari hasil simulasi pengoperasian waduk dilakukan analisis terhadap :

- 1). Unjuk kerja pengoperasian waduk, yaitu berupa indikator keandalan waduk dalam memenuhi target hasil optimasi dan target kebutuhan yang diharapkan, indikator kelentingan dan kerawanan yang terjadi. Sebagai evaluasi yang berkesinambungan dilakukan perbandingan hasil terhadap unjuk kerja data eksisting, yaitu unjuk kerja pengoperasian waduk dari data pelepasan studi Indra Karya (1993), debit *outflow* aktual 9 tahun terakhir (1990 – 1998), pelepasan studi Abinenteras (Tesis, 2001) dan unjuk kerja dengan pola pengoperasian baku (SOP) terhadap kebutuhan air dari waduk (*Demand*).

Unjuk kerja pengoperasian waduk hasil optimasi “MKAI” (Lampiran H) adalah sebagai berikut :

- a). Kinerja terhadap target pelepasan optimasi

- Keandalan (*Reliability*) =  $\alpha$

Total bulan pengoperasian  $n = 552$  bulan

Total pengoperasian dalam keadaan sukses :  $\Sigma(Z_t) = 549$  bulan

Jadi  $\alpha = 1/552 \cdot (549) = 0,99$  (persamaan 3-28)

Hal mana menunjukkan bahwa waduk mempunyai kemampuan 99 % untuk memenuhi total pelepasan/target hasil optimasi

- Kelentingan (*Resiliency*) =  $\gamma$

Frekwensi terjadi masa transisi dari sukses ke gagal atau sebaliknya:

$\Sigma(W) = 2$

Total terjadi kegagalan :  $\Sigma(1-Z) = 3$  bulan

Jangka waktu rata-rata waduk dalam keadaan gagal :

$T_{gagal} = 3/2 = 1,50$  bulan (persamaan 3-32)

Jadi  $\gamma = 1/1,50 = 0,67$  (persamaan 3-34)

Semakin besar kelentingan akan semakin cepat waduk menjadi kondisi tidak gagal (sukses).

- Kerawanan (*Vulnerability*)

Total *deficit* = 87,78 juta  $m^3$ , sehingga rata-rata *deficit* =  $87,78/3 = 29,26$  juta  $m^3$ . Total *deficit-ratio* = 59,63 %, sehingga nilai rata-rata “*defisit ratio*” :

$V_1 = 59,63/2 = 29,82$  % (persamaan 3-36)

Hal mana memberikan indikasi bahwa jika terjadi kegagalan, maka 29,82 % dari kebutuhan tidak dapat dipenuhi, dengan rata-rata deficit = 29,263 juta m<sup>3</sup>/bulan setiap kejadian gagal.

Nilai maksimum "*devicit ratio*" :  $V_2 = 0,38$  (persamaan 3-37)

Nilai maksimum "*devisit*" :  $V_3 = 47,54$  juta m<sup>3</sup> (persamaan 3-38)

b). Kinerja terhadap pemenuhan kebutuhan

- Keandalan (*Reliability*) =  $\alpha$

Total bulan pengoperasian  $n = 552$  bulan

Total pengoperasian dalam keadaan sukses :  $\Sigma(Z_t) = 181$  bulan

Jadi  $\alpha = 1/552.(181) = 0,33$  (persamaan 3-28)

Hal mana menunjukkan bahwa waduk mempunyai kemampuan 33 % untuk memenuhi total kebutuhan yang ditargetkan (*demand*)

- Kelentingan (*Resiliency*) =  $\gamma$

Frekwensi terjadi masa transisi dari sukses ke gagal atau sebaliknya :

$$\Sigma W = 59$$

Total pengoperasian mengalami kegagalan :  $\Sigma (1-Z) = 552 - 181 = 371$  bulan

Jangka waktu rata-rata waduk dalam keadaan gagal :

$$T_{\text{gagal}} = 371/59 = 6,29 \text{ bulan (persamaan 3-32)}$$

Jadi  $\gamma = 1/6,29 = 0,16$  (persamaan 3-34)

Hal mana menunjukkan bahwa kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan memuaskan (*satisfactory*) dari keadaan gagal (*fail*) untuk memenuhi kebutuhan (*demand*) lebih kecil dari pada memenuhi target optimasi (  $0,16 < 0,67$  ). Semakin besar kelentingan akan semakin cepat waduk menjadi kondisi tidak gagal (sukses).

- Kerawanan (*Vulnerability*)

Total *deficit* = 17384,38 juta m<sup>3</sup> , sehingga rata-rata *deficit* =  $17384,38/371 = 46,86$  juta m<sup>3</sup>

Total *deficit-ratio* = 16401,01 %, sehingga nilai rata-rata "*defisit-ratio*" :

$$V_1 = 16401,01/59 = 277,98 \% \text{ (persamaan 3-36)}$$

Hal mana memberikan indikasi bahwa jika terjadi kegagalan, maka 277,98 % dari kebutuhan tidak dapat dipenuhi, dengan rata-rata deficit = 46,86 juta m<sup>3</sup>/bulan setiap kejadian gagal.

Nilai maksimum "*devicit-ratio*" :  $V_2 = 90,64 \%$  (persamaan 3-37)

Nilai maksimum "*devisit*" :  $V_3 = 201,73$  juta m<sup>3</sup> (persamaan 3-38)

Untuk jenis simulasi yang dilakukan sesuai kondisi proses pengoperasian waduk (Lampiran H) dan hasil analisis secara keseluruhan dari unjuk kerja pengoperasian waduk berdasarkan pola operasi optimun yang diperoleh dan berdasarkan pelepasan pengoperasian eksisting dapat disimpulkan sebagaimana Tabel 5-19 berikut.

Tabel 5- 19 : Hasil Analisis Simulasi dan Analisis Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk

Jenis Simulasi	Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk													
	Keandalan		Kelentingan			Kerawanan								
	Zt	$\alpha$	Wt	I-Zt	T <sub>gagal</sub>	$\gamma$	DEF	DEF Rata	DEF Ras	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>		
	bulan	-	-	bulan	bulan	-	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	%	%	%	juta m <sup>3</sup>	juta m <sup>3</sup>	
Simulasi Hasil Optimasi														
1. Simulasi target pelepasan optimasi "MKAT"														
- Terhadap target pelepasan optimasi	549	0,99	2	3	1,50	0,67	87,78	29,26	59,63	29,82	38,37	47,54		
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	181	0,33	59	371	6,29	0,16	17384,38	46,86	16401,01	277,98	90,64	201,73		
2. Simulasi target pelepasan optimasi "MPPW"														
- Terhadap target pelepasan optimasi	552	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	221	0,40	68	331	4,87	0,21	17206,29	51,98	15289,80	224,85	90,64	201,73		
Simulasi Eksisting														
1. Simulasi pelepasan studi Indra Karya (1993)														
- Terhadap target pelepasan studi Indra Karya	517	0,94	18	35	1,94	0,51	2518,97	71,97	1426,40	79,24	89,82	195,15		
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	39	0,07	10	513	51,30	0,02	16516,07	32,20	15393,15	1539,32	90,97	204,30		
2. Simulasi pelepasan <i>outflow</i> aktual 9 tahun terakhir (1990 - 1998)														
- Terhadap pelepasan debit <i>outflow</i> aktual	108	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	33	0,31	16	75	4,69	0,21	4564,83	60,86	4260,31	266,26924	100	177,42		
3. Simulasi pelepasan optimasi maksimise pendapatan waduk (Abinenteras T, Tesis 2001)														
- Terhadap target optimasi Abinenteras	524	0,95	19	28	1,47	0,68	1595,13	56,97	1071,03	56,37	88,45	183,46		
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	302	0,55	68	250	3,68	0,27	16306,46	65,23	11134,56	163,74	91,35	203,30		
4. Simulasi menggunakan <i>Standard Operating Policy</i> (S O P)														
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	375	0,68	43	177	4,12	0,24	15495,98	87,55	11699,92	272,09	100	219,32		

## 5.4. Pembahasan Hasil Analisis

Semua hasil analisis yang diperoleh mengacu pada solusi masalah dan tujuan-tujuan yang akan dicapai, dengan demikian pembahasan disini tidak lain adalah menyelidiki tentang bagaimana hasil penelitian dan tujuan-tujuan yang diperoleh dari penelitian.

### 5.4.1. Pola Operasi dan *Rule Curve* Pengoperasian Waduk

Dengan memperhitungkan kekurangan pelepasan air irigasi dan mengabaikan besarnya kelebihan pelepasan air irigasi, maka dari hasil analisis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MKAI" dengan tujuan untuk meminimumkan kekurangan air irigasi diperoleh total kekurangan air irigasi pada kondisi "Tahun Basah" sebesar 113,62 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Normal" sebesar 342,33 juta m<sup>3</sup>, "Tahun Cukup" sebesar 496,15 juta m<sup>3</sup> dan "Tahun Kering" sebesar 741,26 juta m<sup>3</sup>. Demikian juga pada analisis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MPPW", meskipun dalam tujuan untuk meminimumkan penyimpangan pelepasan air waduk di mana penyimpangan bentuk positif (kelebihan) dan penyimpangan bentuk negatif (kekurangan) diperhitungkan dalam arti kekurangan maupun kelebihan pelepasan diberikan penalti untuk mencari keseimbangan antara keduanya, namun dari hasil analisis menunjukkan bahwa besarnya penyimpangan pelepasan air irigasi bentuk positif (kelebihan) adalah nol (lampiran B) dan besar pelepasan air irigasi bentuk negatif (kekurangan) cenderung sama besarnya dengan analisis Fungsi Tujuan "MKAI" kecuali pada kondisi "Tahun Cukup" dengan perbedaan sebesar 0,02 juta m<sup>3</sup> yaitu 496,15 juta m<sup>3</sup> pada "MKAI" dan 496,17 juta m<sup>3</sup> pada "MPPW". Hal tersebut berarti total pelepasan air waduk dan total pelepasan air irigasi juga cenderung sama besarnya, karena total pelepasan air baku diprioritaskan sama dan konstan sepanjang tahun pengoperasian. Akan tetapi meskipun total pelepasan waduk pada "MKAI" dan "MPPW" menunjukkan kecenderungan sama besarnya, namun pendistribusian besarnya pelepasan menurut waktu pengoperasian adalah berbeda, sehingga pola operasi dan fluktuasi muka air waduk (*Rule Curve*) yang diperoleh juga berbeda (Gambar 5-4 dan Gambar 5-7).

Dari pola operasi dan *Rule Curve* pengoperasian waduk dengan meminimumkan kekurangan air irigasi dan meminimumkan penyimpangan pelepasan waduk pada



Fungsi Tujuan (*Objective Function*) "MKAI" dan "MPPW" yang berbeda, pengoperasian Waduk Kedung Ombo untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dari waduk menunjukkan adanya rasio total pelepasan air waduk menurut kelompok tahun debit *inflow* waduk yang direncanakan.

#### 5.4.2. Luasan Daerah Irigasi Sehubungan Hasil Optimasi

Total pelepasan air irigasi hasil optimasi "MKAI" dan "MPPW" yang cenderung sama, namun rata-rata luas daerah irigasi yang dapat diairi berbeda karena rata-rata kebutuhan air untuk daerah irigasi menurut sistem pola tanam adalah berbeda (Tabel 5-6). Untuk itu sehubungan penyelidikan dari kedua pola operasi hasil optimasi yang dilakukan dapat membuktikan bahwa (Tabel 5-11 s/d Tabel 5-18, Gambar 5-8, Gambar 5-9 :

- 1). Kondisi "Tahun Basah" hasil optimasi "MKAI" memberikan total pelepasan air irigasi sama besar dengan hasil optimasi "MPPW" akan tetapi luasan daerah irigasi yang dapat diairi dari hasil optimasi "MPPW" menunjukkan lebih luas dari pada hasil optimasi "MKAI".
- 2). Kondisi "Tahun Normal" hasil optimasi "MKAI" memberikan total pelepasan air irigasi sama besar dengan hasil optimasi "MPPW" akan tetapi luasan daerah irigasi yang dapat diairi dari hasil optimasi "MPPW" menunjukkan lebih luas dari pada hasil optimasi "MKAI".
- 3). Kondisi "Tahun Cukup" hasil optimasi "MKAI" memberikan total pelepasan air irigasi sedikit lebih besar (selisih 0,02 juta m<sup>3</sup>) dengan hasil optimasi "MPPW" dan luasan daerah irigasi yang dapat diairi dari hasil optimasi "MKAI" menunjukkan sedikit lebih luas (beda 1 %) dari pada hasil optimasi "MPPW".
- 4). Kondisi "Tahun Kering" hasil optimasi "MKAI" memberikan total pelepasan air irigasi sama besar dengan hasil optimasi "MPPW" begitu juga luasan daerah irigasi yang dapat diairi dari hasil optimasi "MKAI" mendekati luas yang sama (persentase sama) dengan hasil optimasi "MPPW".

Dari hasil-hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan total pelepasan air irigasi yang sama besarnya dapat mengairi daerah irigasi dengan luas yang berbeda. Wilayah daerah irigasi belum dapat diairi secara total, namun dari analisis luasan

daerah irigasi menunjukkan rasio luas daerah irigasi yang dapat diairi sesuai dengan kondisi kelompok tahun debit *inflow* yang ditentukan. Rata-rata luasan daerah irigasi yang dapat diairi berdasarkan pola operasi optimum "MPPW" lebih luas dari pada pola operasi optimum "MKAI", atau dengan kata lain bahwa pola operasi optimum hasil "MPPW" lebih baik dari pada pola operasi optimum hasil "MKAI". Hal mana dapat di lihat pada Tabel 5-20 berikut.

Tabel 5-20 : Hasil Optimasi Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Jenis Fungsi Tujuan	Kelompok Debit <i>Inflow</i> Waduk					Rata-rata
"MKAI"	Satuan	T. Basah	T. Normal	T. Cukup	T. Kering	
▪ Total kekurangan air irigasi	juta m <sup>3</sup>	113,62	342,33	496,15	741,26	423,34
▪ Total pelepasan waduk	juta m <sup>3</sup>	961,58	732,87	579,05	333,94	651,86
▪ Elevasi awal pengoperasian (+)	m	79,57	67,71	72,07	66,57	71,48
▪ Total pelepasan air baku	juta m <sup>3</sup>	191,28	191,28	191,28	191,28	191,28
▪ Total pelepasan air irigasi :	juta m <sup>3</sup>	770,3	541,59	387,77	142,66	460,58
	%	87	61	43	16	52,11
▪ Rata-rata DI yang dapat diairi dari waduk :	ha	30.231,93	29.037,10	14.915,92	9.289,36	20.868,58
	%	66	63	32	20	45,36
▪ Rata-rata DI yang tidak dapat diairi	ha	15.775,07	16.969,90	31.091,08	36.717,64	25.138,42
▪ Total DI yang dapat diairi	ha	55.143,93	53.949,10	39.827,92	34.201,36	45.780,58
	%	78	76	56	48	64,55
"MPPW"	Satuan	T. Basah	T. Normal	T. Cukup	T. Kering	Rata-rata
▪ Total penyimpangan pelepasan waduk	juta m <sup>3</sup>	113,62	342,33	496,17	741,26	423,35
▪ Total pelepasan waduk	juta m <sup>3</sup>	961,58	732,87	579,03	333,94	651,86
▪ Elevasi awal pengoperasian (+)	m	75,58	72,04	78,11	65,57	72,83
▪ Total pelepasan air baku	juta m <sup>3</sup>	191,28	191,28	191,28	191,28	191,28
▪ Total pelepasan air irigasi :	juta m <sup>3</sup>	770,3	541,59	387,75	142,66	460,58
	%	87	61	44	16	52,11
▪ Rata-rata DI yang dapat diairi dari waduk :	ha	42.218,50	30.743,43	14.233,70	9.228,13	24.105,94
	%	92	67	31	20	52,40
▪ Rata-rata DI yang tidak dapat diairi	ha	3.788,50	15.263,57	31.783,70	36.778,87	21.903,66
▪ Total DI yang dapat diairi :	ha	67.130,50	55.655,43	39.145,70	34.140,13	49.017,94
	%	95	78	55	48	69,12

### 5.4.3 Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk

Dengan mengamati hasil analisis simulasi yang dilakukan (Tabel 5-19), unjuk kerja pengoperasian waduk hasil optimasi maupun eksisting, dapat membuktikan bahwa :

#### 1). Unjuk kerja pola operasi optimum hasil optimasi

Unjuk kerja keandalan pola operasi optimum waduk hasil optimasi “MPPW” ( 100 %) tanpa terjadi unjuk kerja kelentingan, hal mana menunjukkan lebih baik dari pada unjuk kerja keandalan pola operasi hasil optimasi “MKAI” (99 %) dengan kelentingan 67 %, demikian juga terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk (Tabel 5-19). Kapasitas waduk dapat terpenuhi antara kapasitas tampungan minimum dan kapasitas maksimum tanpa adanya limpasan.

#### 2). Unjuk kerja pola operasi eksisting

- Unjuk kerja keandalan waduk dengan pelepasan hasil studi Indra Karya (1993) dapat mencapai 94 % dengan kelentingan 51 % dan persyaratan volume tampungan waduk terpenuhi. . Akan tetapi unjuk kerja terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk sangat kecil yaitu 7 % (terkecil diantara eksisting lainnya ataupun dari hasil optimasi). Hal mana menunjukkan bukti bahwa kurang optimumnya pola pengoperasian tersebut.
- Unjuk kerja keandalan waduk dengan pelepasan *outflow* aktual 9 tahun terakhir dapat mencapai 100 % tanpa terjadi kelentingan. Akan tetapi 7 bulan dari 108 bulan pengoperasian di mana waduk tidak memberikan suplesi air sama sekali (total pelepasan = 0), meskipun persyaratan volume tampungan waduk terpenuhi. Unjuk kerja terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk adalah 31 %.
- Unjuk kerja keandalan waduk dengan pelepasan optimum hasil optimasi terdahulu (Tarigan, 2001) dapat mencapai 95 % dengan kelentingan 68 % dan persyaratan volume tampungan waduk terpenuhi. . Akan tetapi pada sistem analisisnya dengan mengabaikan evaporasi. Dengan demikian unjuk kerja terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk mencapai keandalan 55 % (menjadi lebih besar).

- Unjuk kerja keandalan pengoperasian waduk dengan menggunakan SOP dapat mencapai 68 %, namun kenyataannya 14 bulan dari total 552 bulan pengoperasian di mana waduk tidak dapat memberi suplesi air (dengan total pelepasan =0) dengan kondisi volume tampungan waduk berada di bawah kapasitas minimum waduk yang diizinkan.

Mengamati dari beberapa unjuk kerja pengoperasian waduk tersebut dapat disimpulkan bahwa unjuk kerja pola operasi optimum hasil optimasi dengan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MPPW” lebih baik dari pada “MKAF” ataupun unjuk kerja dari pengoperasian eksisting. Dan dengan berdasarkan kondisi yang terjadi pada pengoperasian waduk, maka unjuk kerja pola operasi optimum hasil optimasi terdahulu (eksisting) lebih baik dari pada unjuk kerja eksisting lainnya. Hal mana dapat di lihat pada Tabel 5-21 berikut.

Tabel 5-21 : Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk Hasil Optimasi dan Eksisting

JENIS SIMULASI	Kinerja Pengoperasian Waduk					
	Keandalan	Kelentingan	Kerawanan			
	$\alpha$	$\gamma$	DEF Rata	$V_1$	$V_2$	$V_3$
	-	-	juta m <sup>3</sup>	-	-	juta m <sup>3</sup>
<b>Simulasi Hasil Optimasi :</b>						
1. Simulasi target optimasi “MKAF”						
- Terhadap target pelepasan optimasi	0,99	0,67	29,26	0,30	0,38	47,54
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,33	0,16	46,86	2,78	0,91	201,73
2. Simulasi target optimasi “MPPW”						
- Terhadap target pelepasan optimasi	1,00	-	-	-	-	-
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,40	0,21	51,98	2,25	0,91	201,71
<b>Simulasi Eksisting</b>						
1. Simulasi studi Indra Karya (1993)						
- Target pelepasan studi Indra Karya	0,94	0,51	71,97	0,79	0,90	195,15
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,07	0,02	32,20	15,39	91	204,30
2. Simulasi pelepasan outflow aktual 9 tahun terakhir (1990 - 1998)						
- Terhadap debit outflow aktual	1,00	-	-	-	-	-
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,31	0,21	60,86	2,66	1,00	177,42
3. Simulasi target optimasi maksimisasi pendapatan waduk (Tarigan, 2001)						
- Terhadap target pelepasan optimasi	0,95	0,68	56,97	0,56	0,88	183,46
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,55	0,27	65,23	1,64	0,91	203,30
4. Simulasi menggunakan <i>Standart Operating Policy</i> ( S O P )						
- Terhadap pemenuhan kebutuhan	0,68	0,24	87,55	2,72	1,00	219,32

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil-hasil analisis dan pembahasan pengoperasian Waduk Kedung Ombo yang dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- 1). Pola operasi optimum hasil optimasi dari Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MKAI” dan “MPPW” dengan total pelepasan yang diberikan dapat melayani kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup> sepanjang tahun pengoperasian waduk dan untuk melayani kebutuhan daerah irigasi dari waduk adalah sebagai berikut:
  - Fungsi Tujuan “MKAI” memberikan total pelepasan rata-rata sebesar 651,86 juta m<sup>3</sup>. Hal mana dapat memenuhi kebutuhan air baku dengan total pelepasan 191,28 juta m<sup>3</sup> (kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup>/bulan terpenuhi) dan total pelepasan rata-rata untuk kebutuhan air irigasi sebesar 460,58 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 52,11 % dari kekurangan air irigasi sebesar 883,92 juta m<sup>3</sup>). Rata-rata daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 20.868,58 ha (setara dengan 45,36 % dari daerah irigasi yang harus diairi seluas 46.007 ha), sehingga total daerah irigasi yang dapat diairi menjadi 45.780,58 ha (setara dengan 64,55 % dari 70.919 ha luas potensi wilayah daerah irigasi Waduk Kedung Ombo).
  - Fungsi Tujuan “MPPW” memberikan total pelepasan rata-rata sebesar 651,86 juta m<sup>3</sup>. Hal mana dapat memenuhi kebutuhan air baku dengan total pelepasan 191,28 juta m<sup>3</sup> (kebutuhan air baku sebesar 15,94 juta m<sup>3</sup>/bulan terpenuhi) dan total pelepasan rata-rata untuk kebutuhan air irigasi sebesar 460,58 juta m<sup>3</sup> (setara dengan 52,11 % dari kekurangan air irigasi sebesar 883,92 juta m<sup>3</sup>). Rata-rata daerah irigasi yang dapat diairi dari waduk adalah 24.105,94 ha (setara dengan 52,40 % dari daerah irigasi yang harus diairi seluas 46.007 ha), sehingga total daerah irigasi yang dapat diairi menjadi 49.017,94 ha (setara dengan 69,12 % dari 70.919 ha luas potensi wilayah daerah irigasi waduk Kedung Ombo).

2). Unjuk kerja pola operasi optimum waduk hasil optimasi :

- Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MKAI” mencapai keandalan 99 %, keketingan 67 % dan rata-rata *defisit ratio* 30 % dengan *defisit* rata-rata sebesar 29,26 juta m<sup>3</sup>. Dan terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk mencapai keandalan 33 %.
- Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MPPW” mencapai keandalan 100 % tanpa terjadi keketingan dan *deficit*. Dan terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk mencapai keandalan 40 %.

Unjuk kerja pola operasi eksisting dengan :

- Pelepasan hasil studi Indra Karya (1993) mencapai keandalan 94 %, ketelitian 51 % dengan persyaratan volume tampungan waduk terpenuhi. Dan terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk mencapai keandalan 0,07 %.
- Pelepasan *outflow* aktual 9 tahun terakhir mencapai keandalan 100 % tanpa terjadi ketelitian dan *deficit*, akan tetapi 7 bulan dari 108 bulan pengoperasian di mana waduk tidak memberikan suplesi air sama sekali (total pelepasan = 0) dan unjuk kerja terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk adalah 31 %.
- Pelepasan optimum hasil optimasi terdahulu (Tarigan A, 2001) mencapai 95 % dengan ketelitian 68 %, akan tetapi pada sistem analisisnya dengan mengabaikan evaporasi, sehingga unjuk kerja terhadap pemenuhan kebutuhan pelayanan waduk mencapai 55 %.
- Menggunakan SOP mencapai 68 %, namun kenyataannya 14 bulan dari total 552 bulan pengoperasian di mana waduk tidak dapat memberi suplesi air (dengan total pelepasan = 0) dengan kondisi volume tampungan waduk berada di bawah kapasitas minimum waduk yang diizinkan.

Dengan demikian pengoperasian waduk dengan metode optimasi terhadap beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) yang berbeda secara nyata memberikan hasil optimum dengan pola pengoperasian yang berbeda dan unjuk kerja pengoperasian yang lebih baik (memuaskan):

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pola operasi optimum dapat diperoleh dari analisis optimasi Minimisasi Penyimpangan Pelepasan Waduk (MPPW) dan dapat diaplikasikan sebagaimana “*Rule Curve*” pada Gambar 5-7.

## 6.2. Saran

- 1). Analisis optimasi pengoperasian waduk perlu dilakukan terhadap beberapa Fungsi Tujuan (*Objective Function*) karena dapat memberikan pilihan hasil optimal dalam mempertimbangkan suatu pola pengoperasian yang ditetapkan. Skenario pengelompokan debit *inflow* waduk tidak terbatas pada 4 (empat) kondisi kelompok tahun debit *inflow*, keberadaan trend setiap kondisi kelompok debit *inflow* yang direncanakan dapat dievaluasi (dibandingkan) secara statistik.
- 2). Jika hasil penelitian ini merupakan suatu pertimbangan untuk menentukan pola operasi waduk yang diterapkan pada pengoperasian Waduk Kedung Ombo, maka disarankan untuk menggunakan pola operasi hasil optimasi dengan Fungsi Tujuan (*Objective Function*) “MPPW”, namun tidak menutup kemungkinan untuk meneliti dengan jenis Fungsi Tujuan (*Objective Function*) yang lain, misalnya dengan pemograman tak linear, pemograman kuadratik atau dengan pemograman teknik probabilitas.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Asri, M., dan Widayat, M., 1984. Linier Programming, Edisi Revisi, Badan Penerbit Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 127p.
2. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, 1985. Pedoman Kebutuhan Air untuk Tanaman Padi dan Tanaman Lain, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta, 93p.
3. Belaine, G., Richard, C.P., dan Hughes, T.C., 1999. Optimization Modeling for Water Resources Management, *Journal of Water Resources Planning and Management*, May/June 1999, pp. 154-160.
4. Frederick, S. Hillier, Gerald, J. Lieberman, Alih Bahasa Oleh : Ellen Gunawan, S, Ardi Wirda Mulia, 1994, Pengantar Riset Operasi, Penerbit Erlangga, Jakarta.
5. Haimes, Y.Y., 1977. Hierarchical Analysis of Water Resources System, McGraw Hill, International Book Company, USA, 372p.
6. Indra Karya, P. T., 1993. Pekerjaan Studi Sistem Operasi Waduk Kedung Ombo dan Manual Pengoperasian, Laporan Akhir, Indra Karya, P.T., Semarang, 168p.
7. Indah Karya, P. T., 1995. Perencanaan Pola Tata Air Satuan Wilayah Sungai Jratunseluna, Laporan Penunjang, Indah Karya, P. T., Semarang, 83p.
8. Indra Karya, P. T., 1995. Perencanaan Pola Tata Air Satuan Wilayah Sungai Jratunseluna, Laporan Akhir, Indah Karya, P. T., Semarang, 80p.
9. Loucks, D. P., dan Dorfman, P., 1975. An Evaluation of Some Linier Decision Rules in Chance Constrained Model for Reservoir Planning and Operation. Water Resources Research, Vol. 11, No. 6, pp. 777-782.
10. Martsanto, D., 1992. Optimization of Jatiluhur Reservoir System by Using Linier Programming, Master Thesis, Asian Institute of Technology of Bangkok, Bangkok, 135p.
11. McMahon, T. A., dan Mein, R. G., 1978. Reservoir Capacity and Yield, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 211p.
12. Muslich, M., 1993. Metode Kuantitatif, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, 445p.
13. Mustafa Zainal, dan Parkhan Ali, 2000. Linear Programming dengan QS (Quantitative Systems), Penerbit EKONISIA, Yogyakarta, 117p.



14. Nasendi, B. D., dan Anwar, F., 1985. Program Linier dan Variasinya, Gramedia, Jakarta, 324p.
15. Pantouw, J. P., 1988. Optimasi Potensi Air DAS Sebagai Satu Sistem dengan Program Linier, Tesis S-2, Fakultas Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta, 121p.
16. Pasaribu, Amudi, 1983. Pengantar Statistik, Ghalia Indonesia, Jakarta.
17. PPKSAJ, 2000. Hasil Pemantauan Data Klimatologi dan Debit Sungai Tahun 1994-1998 di Sub SWS Serang, Lusi, dan Junana, Laporan Hasil Pemantauan, PPKSAJ, Semarang, 198p.
18. Pranoto, S., 1994. Kombinasi Analisa Program Linier dan Simulasi untuk Optimasi Pemanfaatan Air Daerah Aliran Sungai, Makalah Seminar Kelompok Hidro, Jurusan Sipil, 30 April 1994, UNDIP, Semarang, 31p.
19. Siswanto, 1990. Sistem Komputer Manajemen LINDO, P.T., Alex Media Komputindo Kelompok Gramedia, Jakarta., 242p.
20. Siswanto, 1992. Pemrograman Linier Lanjutan, Universitas Atmajaya, Yogyakarta, 316p.
21. Soekartawi, 1992. Linear Programming, Teori dan Aplikasinya Khusus Dalam Bidang Pertanian, Rajawali Pers, Jakarta., 137p.
22. Soewarno, 1995. Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data, Penerbit NOVA, Bandung. 271p.
23. Sosrodarsono, S., dan Takeda, K., 1987. Hidrologi untuk Pengairan, P. T., Pradnya Paramita, Jakarta, 226p.
24. Subarkah, I., 1980. Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air, Penerbit Idea Dharma Bandung, Bandung, 239p.
25. Suharyanto, 1997. Analisis Unjuk Kerja Pengoperasian Waduk, Media Komunikasi Teknik Sipil, Edisi VIII-1997, pp. 51-57.
26. Sudjarwadi, 1987. Dasar-dasar Teknik Irigasi, Biro Penerbit KMTS, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 92p.
27. Sudjarwadi, 1988. Teknik Sumber Daya Air, Biro Penerbit KMTS, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 201p.
28. Sudjarwadi, 1988/1989. Operasi Waduk, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 217p.
29. Sumargo, Chr., 1993. "Seri Matematika, Pendahuluan Teori Kemungkinan dan Statistika", Penerbit ITB, 207p.

30. Supranto, J, 1997. Statistik: Teori dan Aplikasi Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
31. Tarigan, A., 2001. Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Kedung Ombo Dengan Program Linier, Tesis Magester Teknik sipil Program Pascasarjana UNDIP Semarang, 157p.
32. W. Taylor III Bernard, 2001. Sains Manajemen, Pendekatan Matematik untuk Bisnis Buku 1, Penerbit Salemba Empat, Jakarta, 292p.
33. Winston, W. L., 1987. Operation Reseach : Application and Algorithms, PWS- Kent Publishing Company, Boston, 129p.
34. Wiratman, dan Associates, 2000. Rencana Pengembangan Sumber daya Air Wilayah Sungai Jratunseluna, Laporan Akhir, Semarang, 129p.
35. Wurbs, R. A., 1996. Modeling and Analysis of Reservoir System Operation, Prentice-Hall, Inc., United State of America, 356p.